



XXI

ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Современные проблемы горно-металлургического
комплекса. Наука и производство»

ТОМ I

Старый Оскол 2024

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова
(филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

**XXI ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА. НАУКА И ПРОИЗВОДСТВО»**

29 ноября 2024 г.

г. Старый Оскол

Редакционная коллегия:

Боева Анна Вячеславовна – директор СТИ НИТУ «МИСИС», доцент, к.п.н.

Кожухов Алексей Александрович – заместитель директора по науке и инновациям СТИ НИТУ «МИСИС», доцент, д.т.н.

Ильичева Елена Вячеславовна – заместитель директора по учебно-методической работе СТИ НИТУ «МИСИС», профессор, д.э.н.

Полева Наталья Анатольевна – заместитель директора по молодежной политике СТИ НИТУ «МИСИС», доцент, к.э.н.

Полещенко Дмитрий Александрович – декан факультета автоматизации и информационных технологий СТИ НИТУ «МИСИС», доцент, к.т.н.

Сазонов Александр Васильевич – и.о. декана факультета металлургии и машиностроительных технологий, зав. кафедрой физики и химии СТИ НИТУ «МИСИС», доцент, к.т.н.

Востокова Светлана Николаевна – декан инженерно-экономического факультета СТИ НИТУ «МИСИС», доцент, к.п.н.

Рецензенты:

Боева Анна Вячеславовна – директор СТИ НИТУ «МИСИС», доцент, к.п.н.

Кожухов Алексей Александрович – заместитель директора по науке и инновациям СТИ НИТУ «МИСИС», доцент, д.т.н.

Ильичева Елена Вячеславовна – заместитель директора по учебно-методической работе СТИ НИТУ «МИСИС», профессор, д.э.н.

Полева Наталья Анатольевна – заместитель директора по молодежной политике СТИ НИТУ «МИСИС», доцент, к.э.н.

Полещенко Дмитрий Александрович – декан факультета автоматизации и информационных технологий СТИ НИТУ «МИСИС», доцент, к.п.н.

Сазонов Александр Васильевич – и.о. декана факультета металлургии и машиностроительных технологий, зав. кафедрой физики и химии СТИ НИТУ «МИСИС», доцент, к.т.н.

Востокова Светлана Николаевна – декан инженерно-экономического факультета СТИ НИТУ «МИСИС», доцент, к.п.н.

Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы двадцать первой Всероссийской научно-практической конференции (Том I), 29 ноября 2024 г. / Ред. коллегия: А.В. Боева, А.А. Кожухов, Е.В. Ильичева, Н.А. Полева, Д.А. Полещенко, А.В. Сазонов, С.В. Востокова. – Старый Оскол, 2024. – 828 с.

Сборник материалов Двадцать первой Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство» (Том I).

Материалы публикуются в авторской редакции.

СЕКЦИЯ 1 «МЕТАЛЛУРГИЯ. РЕСУРСО-ИЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЭМАЛЕВОЙ ГРУНТОВКИ НА ГОРЯЧЕБРИКЕТИРОВАННОЕ ЖЕЛЕЗО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО УСТОЙЧИВОСТИ К ВТОРИЧНОМУ ОКИСЛЕНИЮ

Арутюнян А.Б., Кожухов А.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический университет «МИСИС», Россия, г. Старый Оскол
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42*

***Аннотация.** В данной статье разработана теоретическая экспериментальная методика нанесения неметаллического защитного покрытия (эмаль-грунта) на поверхность брикетов прямого восстановления с целью исследования их устойчивости к вторичному окислению. Данная методика актуальна, так как позволяет исследовать альтернативные пути защиты готовой металлопродукции от изменчивых параметров окружающей среды и сохраняет ее металлургическую ценность при транспортировке потребителям.*

Ключевые слова: горячебрикетированное железо; эмалевая грунтовка; вторичное окисление; неметаллическое защитное покрытие; эмалирование металла; антикоррозионная пленка.

DEVELOPMENT OF A TECHNIQUE FOR APPLYING A NON-METALLIC PROTECTIVE COATING FROM AN ANTICORROSIVE ENAMEL PRIMER TO HOT- BRIQUETTED IRON TO STUDY ITS RESISTANCE TO SECONDARY OXIDATION

Arutyunyan A.B., Kozhukhov A.A.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS» Russia, Sary Oskol

***Abstract.** In this article, a theoretical experimental technique has been developed for applying a non-metallic protective coating (enamel-primer) to the surface of direct reduction briquettes in order to study their resistance to secondary oxidation. This technique is relevant because it allows us to explore alternative ways to protect finished metal products from changing*

environmental parameters and preserves its metallurgical value during transportation to consumers.

Keywords: hot-briquetted iron; enamel primer; secondary oxidation; non-metallic protective coating; metal enameling; anti-corrosion film.

Одной из основных проблем металлургической промышленности - явление вторичного окисления металлизированной продукции. Окисление - это разрушение поверхности металла, вызываемое химическими и электрохимическими воздействиями агрессивной среды, в результате чего происходит утрата металлом его функциональных свойств. Борьба с окислением горячебрикетированного железа идет по пути защиты самих брикетов от разрушающей среды [1]. Все применяемые методы можно разделить на три группы. Поскольку в процессе окисления всегда существуют два участника (разрушаемый материал и агрессивная среда), а оксидная пленка образуется на границе, их разделяющей, то очевидным становится, что окисление можно уменьшить или исключить:

- 1) отделением разрушаемого материала и агрессивной среды друг от друга;
- 2) изменением характеристик агрессивной среды;
- 3) изменением характеристик материала.

Склонность металлизированной продукции к окислению в значительной мере определяется пористостью и удельной поверхностью [2]. Скорость возрастает с увеличением открытой пористости. Основными факторами, влияющими на процесс вторичного окисления, являются влажность, температура, наличие солей и щелочей в атмосфере, форма и размер кусков горячебрикетированного железа, которые зависят от типа восстановительного агрегата, условия протекания процесса металлизации и охлаждения (температура, продолжительность).

Сущность способов защиты металлизированной продукции от окисления заключается в снижении активности губчатого железа путем предотвращения попадания окислителей на поверхность или проникновения внутрь каждого куска с целью сохранения металлургической ценности.

Для защиты металла от окисления применяют покрытия [3]. Защитные покрытия представляют собой слой, искусственно создаваемый на поверхности металла с целью предохранения его от окисления. Покрытия, защищающие основной металл, должны быть сплошными, плотными, иметь одинаковую толщину на разных участках, прочное сцепление с поверхностью и коэффициент теплового расширения примерно такой же, как у основного металла. Защитные покрытия бывают металлические и неметаллические. Рассмотрим более детально неметаллические покрытия в таблице 1.

Таблица 1 – Виды защитных покрытий

Неметаллические защитные покрытия		
Лакокрасочные защитные покрытия	Пленкообразующие вещества	<i>растительные масла, животные клеи, казеин, жидкое стекло</i>
	Растворители пленкообразующих веществ	<i>спирты, бензин, толуол, ацетон, скипидар</i>
	Пластификаторы	<i>каучуки, хлорированный нафталин, касторовое масло, дибутилфталат</i>
	Красители и пигменты	<i>охра, железный сурик, цинковые белила</i>
	Наполнители, снижающие стоимость красителя	<i>тальк, мел, каолин</i>
	Катализаторы, ускоряющие высыхание масляных пленок	<i>кобальтовые и магниевые соли органических жирных кислот</i>
	Покрасочные материалы	<i>лаки, краски, эмали, грунтовки, шпатлевки</i>
Полимерные покрытия	Покрытия на основе поливинилхлорида	-
	Термопластичные полимеры	<i>фторопласт, полиэтилен, эпоксидные соединения</i>
	Гуммирование	<i>эбонит, резина</i>
	Защитные смазки	<i>минеральные масла с добавкой парафина, жидких кислот</i>
	Защитные пасты	<i>суспензии парафина, каучука, минерального воска в уайт-спирите</i>
Неорганические покрытия	Фосфатирование	<i>пленка фосфатов металлов</i>
	Оксидирование	<i>защитные оксидные пленки</i>
	Эмалирование	<i>эмалевые покрытия</i>

Из неметаллических покрытий наибольшее применение находят лакокрасочные [4]. К лакокрасочным материалам относятся олифы, краски, эмали, грунты, шпаклевки. Лакокрасочные покрытия представляют собой растворы пленкообразующих веществ (синтетических или природных). Наиболее распространенными лакокрасочными

материалами для покровных слоев являются алкидные, алкидно-мочевинная, перхлорвиниловые эмали и другие, поскольку они обладают стойкостью к истиранию, температуре, кислотам и щелочам.

Эмалирование – нанесение эмалевых покрытий на металл – железо, сталь, чугун, алюминий, драгоценные металлы [3]. Эмалью называется стекловидная застывшая масса, полученная из расплава, химический состав которой представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав эмалей

Компонент	Содержание, %	Компонент	Содержание, %	Компонент	Содержание, %
Si ₂ O	53-70	Al ₂ O ₃	3-13	B ₂ O ₃	0-7
Na ₂ O	10-20	CaO	1-10	K ₂ O	0-6
ZrO ₂	0-18	TiO ₂	0-8	Li ₂ O	0-5

Эмалевую массу готовят в виде жидкости или порошка и наносят на поверхность металла с помощью кисти, вальцеванием, методом окунания, распыления, напудривания, затем покрытие подвергают холодной или горячей сушке и обжигают.

Процесс нанесения покрытий состоит из нескольких стадий:

- 1) подготовка поверхности к покрытию;
- 2) нанесение грунта, который необходим для создания прочного сцепления с основой и придания покрытию антикоррозионных свойств;
- 3) нанесение промежуточного слоя с целью выравнивания поверхности;
- 4) нанесение лакокрасочного покрытия (одного слоя или нескольких) [4].

Защитные действия эмалевого покрытия заключаются в создании на поверхности металлического изделия сплошной пленки, которая препятствует агрессивному воздействию окружающей среды и предохраняет металл от разрушения [5]. В свою очередь, эластичность пленок достигается путем введения специальных веществ пластификаторов, например касторового масла, дибутилфталата, трикрезилфосфата [4].

Методика исследования устойчивости защитного покрытия из антикоррозионной эмалевой грунтовки, нанесенной на поверхность брикетов, к вторичному окислению

Приборы и материалы для проведения исследования в условиях лаборатории кафедры ММ им. С.П. Угаровой: шесть брикетов, произведенные на АО «ЛГОК» в цехе ГБЖ-3 по процессу Мидрекс; защитное покрытие из антикоррозионного эмаль-грунта по металлу;

органический растворитель; кисти малярные (для очистки брикетов и для нанесения защитного покрытия); шлифовальная губка; штангенциркуль; аналитические весы; печь лабораторная; фильтровальная бумага;

Последовательность проведения лабораторного исследования

Испытанию подвергают шесть брикетов, произведенные на АО «ЛГОК» в цехе ГБЖ-3 по процессу Мидрекс.

1. В начале проведения исследования необходимо произвести замеры масс всех брикетов с помощью аналитических весов, с точностью до 0,001 г;
2. Далее исследуемые брикеты с помощью малярной кисти, а в последующем, при помощи шлифовальной губки следует зачистить от металлической пыли;
3. После очистки поверхности брикетов необходимо повторно произвести замеры масс всех шести образцов с точностью до 0,001 г;
4. Штангенциркулем определить размеры образцов с точностью до 0,01 мм для последующего расчета площади поверхности брикетов;
5. Далее протереть исследуемые брикеты фильтровальной бумагой, слегка пропитанной органическим растворителем для обезжиривания поверхности;
6. Три образца ГБЖ оставить без покрытия, а следующие три покрыть эмаль-грунтом при помощи малярной кисти сначала с одной стороны; после подсушки – с другой. Снова взвесить.
7. Полностью покрытые эмалью брикеты поместить в заблаговременно подогретую лабораторную печь и обжигать при температуре 840-900°C в течении 15 минут.
8. По истечении данного времени брикеты необходимо извлечь из печи и снова взвесить покрытые эмалью, обожженные брикеты.
9. После необходимо провести исследование по выявлению реакционной способности всех шести образцов.

Таким образом, данная методика позволит нам в условиях лаборатории института провести сравнительный анализ устойчивости обычных брикетов и брикетов с защитным покрытием к вторичному окислению и вычислить его количественное значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Летовальцев, А. О. Химическая технология: Металлургия, коррозия металлов и способы защиты от нее, сырьевое и энергетическое обеспечение химических производств, химическое материаловедение: уч. пособие / А. О. Летовальцев, Е. А. Решетникова; Южный

федеральный университет. — Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. — 102 с.

2. Тимофеева, А.С., Никитченко, Т.В., Тимофеев, Е.С., Федина, В.В. Процессы вторичного окисления железа: уч. пособие / А.С. Тимофеева, Т.В. Никитченко, Е.С.Тимофеев, В.В. Федина. – Старый Оскол: ТНТ, 2019. – 116 с.

3. Новгородцева, О.Н. Коррозия металлов и методы защиты от коррозии: уч. пособие / О.Н. Новгородцева, Н.А. Рогожников. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 162 с.

4. Лобанов М.Л., Кардонина Н.И., Россина Н.Г., Юровских А.С. Защитные покрытия: учеб. пособие / М. Л. Лобанов, Н. И. Кардонина, Н. Г. Россина, А. С. Юровских. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с.

5. Самборук А.Р. Коррозия и защита металлов, материалов и изделий: лабораторный практикум / А.Р. Самборук, Е.А. Кузнец. 2-еизд., перераб., дополн. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2018. – 116 с.

ИСКЛЮЧИТЬ СБОЙНЫЕ СИТУАЦИИ В РАБОТЕ ДЕФЕКТОСКОПА ЛИНИИ АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ ТРУБ

Денисов Н.О.

*Россия, Выкса, ВФ НИТУ МИСИС, ОМК АО «ВМЗ»,
denka.nik@mail.ru, denisov_no@omk.ru*

***Аннотация.** Металлургическая промышленность актуальна по сей день, несмотря на то, что ее развитие началось еще в 6-м веке до нашей эры. Одним из ее направлений является трубное производство. Прокладываются как водопроводы, газопроводы малого диаметра бытового характера, так и осуществляются более масштабные проекты в виде магистралей из труб большого диаметра между регионами и целыми странами, причем в различных условиях: под землей, под водой, на открытом воздухе. Для увеличения ресурса и долговечности данных магистралей на трубы наносится антикоррозионное покрытие. Качество данного покрытия определяется различными способами: визуальный осмотр, измерение толщины покрытия, определение ударной прочности покрытия, проверка адгезии и диэлектрической сплошности, о которой и пойдет речь.*

Целью проекта является изучение процесса проверки диэлектрической сплошности на участке антикоррозионного покрытия труб №3,4 АО «ВМЗ», определение недостатков, разработка мероприятий, оценка итогов реализации.

Благодаря проведенной работе определены недостатки оборудования, разработаны и реализованы мероприятия по их исключению, испытано и внедрено новое оборудование.

Ключевые слова: диэлектрическая сплошность; индуктивные и оптические датчики; дефектоскоп.

ELIMINATE FAULTY SITUATIONS IN THE OPERATION OF THE FLAW DETECTOR OF THE PIPE ANTI-CORROSION COATING LINE

Denisov N.O.

*Russia, Vyksa, VF NUST MISIS, OMK JSC "VMZ",
denka.nik@mail.ru, denisov_no@omk.ru*

***Abstract.** The metallurgical industry is relevant to this day, despite the fact that its development began in the 6th century BC. One of its areas is pipe production. Both water pipelines and small-diameter gas pipelines of a domestic nature are being laid, and larger-scale projects are being carried out in the form of large-diameter pipe pipelines between regions and entire countries,*

and in various conditions: underground, underwater, outdoors. To increase the resource and durability of these pipelines, an anti-corrosion coating is applied to the pipes. The quality of this coating is determined in various ways: visual inspection, measuring the thickness of the coating, determining the impact strength of the coating, checking adhesion and dielectric continuity, which will be discussed.

The purpose of the project is to study the process of checking the dielectric continuity at the site of the anticorrosive coating of pipes No. 3,4 of JSC VMZ, identify deficiencies, develop measures, and evaluate the results of implementation.

Thanks to the work carried out, equipment deficiencies were identified, measures to eliminate them were developed and implemented, new equipment was tested and implemented.

Keywords: dielectric continuity; inductive and optical sensors; flaw detector.

На участке антикоррозионного покрытия труб №3,4 АО «ВМЗ» имеется электроискровой дефектоскоп, который позволяет обнаружить дефект по наружному антикоррозионному покрытию на трубе. Принцип работы данного дефектоскопа следующий: на щетину кассеты дефектоскопа через высокочастотный преобразователь подается напряжение. В случае прохода через кассету трубы с некачественным изоляционным покрытием (сквозное механическое повреждение), происходит эффект «эл. дуга» между трубой, и щетиной, из-за чего подается сигнал на блок управления и происходит срабатывание краскоотметчика.

Т.к. труба проходит процесс водного охлаждения, то на покрытии остаются водные капли, которые приводят к сбойным ситуациям в работе дефектоскопа.

Имеется два индуктивных датчика наличия трубы, которые находятся: перед дефектоскопом по ходу движения трубы, и за ним. Первый сигнализирует на блок управления дефектоскопа о его включении, второй контролирует движение трубы через дефектоскоп. Данные индуктивные датчики основаны на измерении индуктивного поля катушки, которое изменяется при попадании в него металлического объекта. Это индуктивное поле чувствительно к влаге и металлизированной пыли. В связи с этим разработана карта пошагового выполнения операций (КПВО), согласно которой операторы ПУ каждый час производят осмотр краскоотметчика, дефектоскопа и осуществляют обдув диэлектрической щетины, индуктивных датчиков.

Также, в область действия поля датчика попадает диэлектрическая щетина кольца дефектоскопа, находящаяся под напряжением и образующая дополнительное магнитное поле. Всё это приводит к сбоям при работе, позднему, раннему и ложному срабатываниям, а также к отключению дефектоскопа.

Из-за вышеперечисленного приходится проводить дефектоскопию труб повторно и дополнительно использовать ручной дефектоскоп для исключения возможности отправки труб на участок отгрузки с дефектом по изоляционному покрытию.

Было выдвинуто предложение заменить индуктивные датчики на оптические. Также изготовить специальный кронштейн под эти датчики, с помощью которого можно будет регулировать положение датчика по высоте, углу наклона по вертикальной оси и по горизонтальной.

Также, собственными силами изготовить диаметральный обдув трубы следующей конструкции: металлический каркас из б/у колец калибров дробеметной установки, на котором закреплена закругленная ПВХ труба с отверстиями по всей длине, с подводом воздуха из трубопровода цеховой системы. Изготовить 2 шт. данной конструкции: $\varnothing 1020$ и $\varnothing 1420$, для регулировки по производимому сортаменту. Данные кассеты будут устанавливаться в специальные пазы из профильной трубы под собственным весом сверху-вниз.

Принцип работы оптических датчиков основан на измерении отраженных световых лучей от поверхности объекта. Он не реагирует на изменение магнитных полей вокруг себя. Соответственно после установки данных датчиков не происходят сбои в работе дефектоскопа из-за окружающих его факторов воздействия: металлизированной пыли, влаги, стекающей с трубы после прохода камеры охлаждения, магнитных полей дефектоскопа.

Благодаря установке дополнительного обдува будет осуществляться обдув изоляционного покрытия трубы по всей площади ее поверхности, из-за чего будет исключено ложное срабатывание дефектоскопа. Пазы и направляющие из профильной трубы способствуют быстрой установке и замене кассет при необходимости (смена кассеты по диаметру, ремонтные работы).

Проведенная работа позволила достичь исключения срабатывания дефектоскопа при отсутствии дефекта изоляционного покрытия, исключить срабатывание дефектоскопа ранее запрограммированной задержки или позднее, и как следствие, нет необходимости более проводить повторную дефектоскопию труб для достоверности показаний.

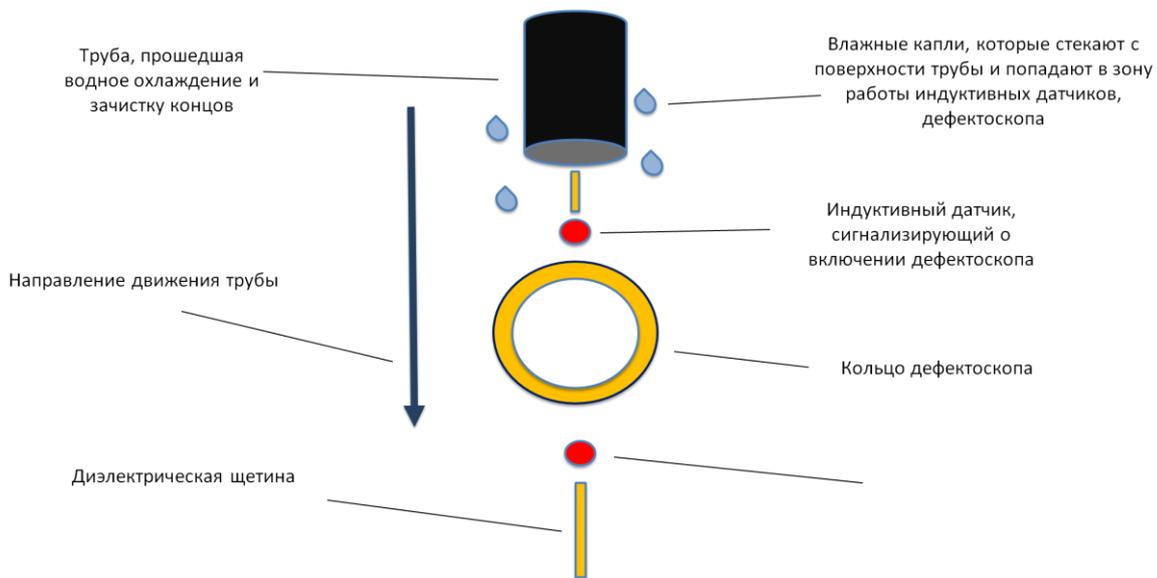


Рис. 1 – Схема дефектоскопии покрытия трубы до реализации проекта.

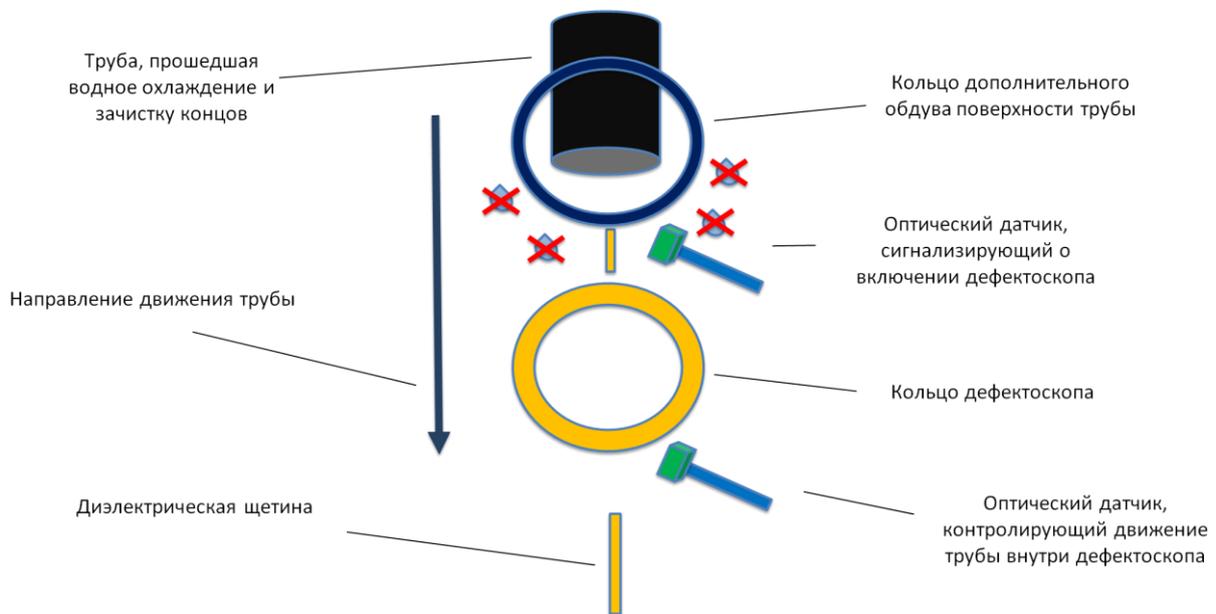


Рис. 2 – Схема дефектоскопии после реализации проекта.



Рис. 3 – Индуктивный датчик.



Рис. 4 – Кольцо дефектоскопа.



Рис. 5 – Внедренные оптические датчики.



Рис. 6 – Установленное кольцо диаметального обдува трубы перед дефектоскопом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Металлургия, URL: [Металлургия — Википедия](#);
2. Способы контроля качества антикоррозионного покрытия труб, URL: [способы контроля качества антикоррозионного покрытия на трубах](#);
3. Индуктивный датчик, URL: [Индуктивный датчик: принцип работы, схемы подключения, характеристики](#);
4. Какие бывают оптические датчики: Оптические датчики: принцип работы, конструкция, виды, область применения.

КРАТКИЙ ОБЗОР ХАРАКТЕРИСТИК БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН

Никитченко Т.В., Денисова Е.Э., Тимофеева А.С.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»),
Россия, Старый Оскол, 309516, Белгородская обл., г. Старый Оскол, микрорайон Макаренко, 42
nikitchenko.tania@yandex.ru, blackcurrant-@mail.ru, uked@yandex.ru*

Аннотация. В статье представлен краткий обзор характеристик бентонитовых глин, рассмотрена структура монтмориллонита и её роль в формировании реологических свойств бентонита.

Ключевые слова: бентонит; бентонитовая глина; монтмориллонит; набухаемость; коллоидальность; вязкость; бентонитовое число.

A BRIEF OVERVIEW OF THE CHARACTERISTICS OF BENTONITE CLAYS

Nikitchenko T.V., Denisova E.E., Timofeeva A.S.

Technological Institute of the Stary Oskol named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS», Russia, Stary Oskol

Abstract. The article provides a brief overview of the characteristics of bentonite clays, examines the structure of montmorillonite and its role in the formation of rheological properties of bentonite.

Keywords: bentonite; bentonite clay; montmorillonite; swelling; colloidal; viscosity; bentonite number.

Бентонит – это монтмориллонитовая глина, обладающая ярко выраженными коллоидными свойствами. Бентонитовые глины с высоким содержанием монтмориллонита (более 70%) характеризуются высокой связующей способностью, ионообменными и поглотительными свойствами, а их водные суспензии – тиксотропными свойствами. Структура монтмориллонита обуславливает высокую гидрофильность бентонита, он способен поглощать более 500% массы воды, относительно начальной собственной массы. Вода проникает в межслоевое пространство монтмориллонита, гидратирует его и вызывает набухание.

Кристаллическая решетка монтмориллонита образована из двух структурных элементов. Один структурный элемент состоит из двух наружных кремнекислородных тетраэдрических сеток с атомами кремния в центрах. В каждом тетраэдре атом кремния одинаково удален от четырех атомов кислорода или гидроксильных групп. Сетки силиций-тетраэдров расположены в форме бесконечно повторяющихся гексагональных сеток. Второй структурный элемент кристаллической решетки монтмориллонита складывается из плотно упакованных атомов кислорода или гидроксильных групп, между которыми в октаэдрической координации расположены атомы алюминия. Алюмокислородная октаэдрическая сетка расположена между двумя кремнекислородными тетраэдрами, рис. 1. [1].

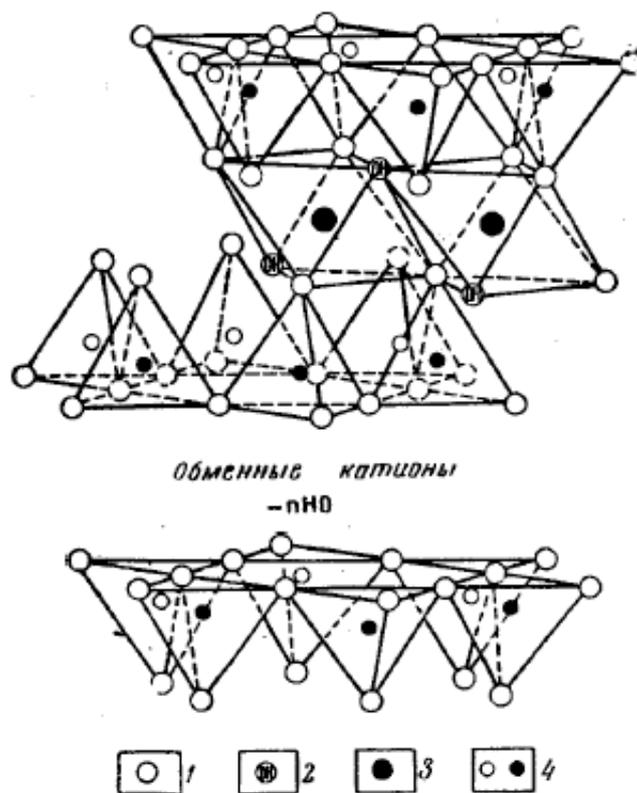


Рис. 1 – Схематичное изображение структуры монтмориллонита

1 – кислород; 2 – гидроксид; 3 – алюминий, железо, магний; 4 – кремний, иногда алюминий

В связи с тем, что молекулы воды и обменные катионы располагаются между крайними кремнекислородными тетраэдрами, связь между слоями очень слабая, а в некоторых случаях доходит до материального разобщения отдельных слоев.

Такой сравнительно слабой связью между слоистыми пакетами и наличием «свободного пространства», куда легко могут проникнуть вода и некоторые ионы,

объясняется одно из важнейших свойств бентонитов – чрезвычайно сильная набухаемость их в воде, а также высокая способность к обменной реакции.

Химические и структурно-механические свойства бентонитов и особенности его строения зависят главным образом от степени упорядоченности кристаллической структуры, количества замещенных катионов в слое, характера межслоевого комплекса. Определенную роль в проявлении свойств играет также природа обменных катионов.

Очень важным свойством бентонитовых глин является способность к самодиспергации. В процессе диспергации возможно возникновение незавершенных структурных элементов, которые можно рассматривать как вариант наночастицы или своеобразный плейтлет. Элементарные плейтлеты имеют размеры от нескольких десятков до нескольких сотен Нм шириной и длиной, и от 1 до 1,5 Нм толщиной. Точная толщина зависит от числа адсорбированных молекул воды. Элементарные плейтлеты несут отрицательный заряд, величина которого в значительной степени определяется изоморфными замещениями в октаэдрическом и тетраэдрическом слоях. Заряд нейтрализуется обменными катионами с одним или двумя одноименными слоями воды, расположенными в межслоевом пространстве между элементарными плейтлетами [2].

Группы элементарных плейтлетов образуют глинистую частицу. Если эти частицы погрузить в воду, то вода входит в межслоевое пространство и глинистые частицы набухают. Таким образом, можно трансформировать глинистую частицу, состоящую из ряда более или менее ориентированных элементарных плейтлетов в водную суспензию.

Весьма важным свойством плейтлетов и соответственно глинистых частиц является способность к самоорганизации, при этом суспензии приобретают определенную структуру и переходят в гелевидное состояние.

Высокая гидрофильность бентонитовых глин создает предпосылки для развития определенного типа деформационных процессов в разбавленных и концентрированных суспензиях.

Различия в минеральном составе бентонитов и в структурных и кристаллохимических особенностях породообразующего монтмориллонита, порождают, различия и в физических свойствах бентонитов разных генетических типов, зависящих от месторождения.

1) Дисперсность

В генетическом отношении можно оказать, что в процессе образования бентонитов происходит формирование их гранулярного и минерального состава, которые обуславливают друг друга. Чем больше в породе монтмориллонита, тем выше ее дисперсность. Это хорошо иллюстрирует тот факт, что практически мономинеральные бентониты являются вместе с тем монодисперсными [2].

2) Средняя плотность и пористость

Бентониты, как и любые глины, являются трехкомпонентной системой, состоящей из минерального скелета, воды и воздуха. Минеральные частицы бентонитов занимают лишь часть объема (55 – 68%), остальную часть объема составляют поры, заполненные водой, и небольшое количество (2%) воздуха.

Изменения средней плотности бентонитов зависят от плотности частиц, слагающих их. Повышение плотности бентонитов связано, кроме железа, с минералами-примесями, например с хлоритом, гидромусковитом, карбонатами кальция и магния, тяжелыми терригенными и аутогенными минералами. Чем больше в бентонитах минералов монтмориллонитовой группы, а также органических веществ, тем меньше будет их плотность.

В средних значениях бентониты характеризуются как среднепористые породы. Коэффициент пористости их колеблется в пределах от 0,48 до 0,80, а у железистых монтмориллонитов до 1 в среднем составляет 0,55. Соответственно изменяются и значения естественной пористости.

При анализе изменения пористости в зависимости от уплотненности бентонитов необходимо учитывать, что породы за время своего существования значительно уплотнились под влиянием внешних нагрузок, дегидратации, цементации скелета и других факторов диагенеза.

3) Пластичность

Повышенная пластичность характерна для монтмориллонитовых глин и особенно бентонитов. Так, например, число пластичности уменьшается от гидротермальных (104,7%) до элювиальных (24,6%) и в среднем составляет 42%. Повышенная пластичность бентонитов обуславливается главным образом преобладанием в их составе мелкопелитовых, в том числе коллоидных частиц, а также спецификой породообразующего монтмориллонита. Присутствие в бентонитах значительного количества кварца, в том числе и в пелитовой фракции, способствует уменьшению пластичности.

4) Набухаемость

Набухаемость основана на том, что кристаллическая решетка монтмориллонита проявляет способность к расширению в присутствии жидкости.

В средних значениях набухаемость для гидротермальных бентонитов составляет 12,8 раз, вулканогенно-осадочных 8,1 раз, в том числе щелочных разновидностей 10 и щелочноземельных 3 раза. Осадочные и элювиальные бентониты набухают незначительно – в среднем не более чем в 3 раза. Набухаемость, при всем различии показателей не зависит ни от емкости обменных катионов, ни от заряда тетраэдрического слоя кристаллической

решетки. Она связана с замещениями катионов в октаэдрах. Чем больше таких замещений, тем выше набухаемость монтмориллонита. Это свойство связывается с диссоциацией монтмориллонита, и чем она выше, тем больше набухаемость. Следовательно, наибольшая набухаемость натриевых монтмориллонитов по сравнению с кальциевыми объясняется наибольшей степенью диссоциации, в результате чего большое количество структурных единиц остается с отрицательным зарядом [2].

Другим характерным показателем набухаемости является число Enslin – зависимость числа сбрасывания окатышей на стальную плиту от набухаемости бентонита. Этот метод отличается высокой точностью и позволяет оценить качество бентонита. Число Enslin изменяется в широких пределах: у гидротермальных бентонитов составляет 320%, вулканогенно-осадочных 290%, осадочных 214% и элювиальных 179%. У высококачественных щелочных бентонитов число Enslin примерно равно 300%.

5) Коллоидальность

Высококачественные набухающие бентониты в среднем обладают коллоидальностью более 85%, гидротермальные 86,2%, вулканогенно-осадочные 98,0%, в то время как ненабухающие бентониты того же генетического типа – 40% (морские 35% и континентальные 44,5%). Щелочноземельные бентониты осадочного и элювиального типов характеризуются низкой набухаемостью и коллоидальностью, в среднем не превышающих 25%.

Коллоидальность так же, как и набухаемость, в основном зависит от степени диссоциации монтмориллонитов. Диссоциация происходит под действием молекул воды, которые своими отрицательно заряженными полюсами, притягиваясь к обменным катионам, стремятся оторвать их от анионов, находящихся на поверхности коллоидных частиц. Чем выше диссоциация, тем больше коллоидальность бентонита. Однако эта закономерность действует, как доказал, только в пределах одной и той же валентности и поэтому наиболее ярко проявляется у натриевых бентонитов [2, 3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Бентонитовые глины. / Мерабишвили М.С. – М.: Госгеолтехиздат, 1992, – 129 с.
2. Генетические типы и закономерности распространения месторождений бентонитов в СССР / Н.В. Кирсанов, М.А. Ратеев, А.А. Сабитов и др. – М.: Недра, 1981, – 214 с.
3. Минералогия: Теоретические основы. Описание минералов. Диагностические таблицы / Л. Берри, Б. Мейсон, Р. Дитрих, Пер. с англ.-М: Мир, 1987, – 592 с.

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

Ермоленко К.А., Тимофеева А.С.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»). Россия, г. Старый Оскол.

ermolenko.kostyan@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время стоит остро вопрос об использовании дисперсных отходов в металлургическом производстве, в частности, при производстве горячбрикетированного железа. В статье рассмотрен вопрос получения брикетов холодным способом в лабораторных условиях из шламов шламоотстойников и закрома технологического классификатора ЦГБЖ-2. При получении брикетов использовали 2 связующих: клей ПВА и жидкий пластик. Выяснено, что наиболее выгодным является жидкий пластик, когда прочность брикета увеличивается на 65%, что даст возможность транспортировать ГБЖ на дальние расстояния при транспортировке покупателю.

Ключевые слова: шлам; брикет; гидропресс; связующее; прочность на сжатие.

RECYCLING OF DIRECT IRON REDUCTION WASTE

Ermolenko K.A., Timofeeva A.S.

Starooskolsky Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" (STI NUST MISIS). Russia, Sary Oskol

Abstract. Currently, there is an urgent issue of the use of dispersed waste in metallurgical production, in particular, in the production of hot-briquetted iron. The article considers the issue of obtaining briquettes by cold method in laboratory conditions from sludge tanks and the bins of the technological classifier TSGBZH-2. When making briquettes, 2 binders were used: PVA glue and liquid plastic. It was found out that liquid plastic is the most profitable when the strength of the briquette increases by 65%, which will make it possible to transport GBH over long distances when transporting it to the buyer.

Keywords: sludge; briquette; hydraulic press; binder; compressive strength.

На промышленных предприятиях горно-металлургического кластера Российской Федерации образуется большое количество мелкодисперсных отходов, в составе которых

находится железо. Данные производства сопровождаются выделением значительного количества пыли, которая также накапливается и практически не используется.

В образующихся отходах часто встречаются полезные элементы такие как оксиды железа, углерод, марганец, цинк и др. Количество образующихся отходов по всем классам опасности в 2 раза больше, чем количество перерабатываемых отходов [1, с.231].

В настоящее время отходы прямого восстановления железа практически не используются, это связано со сложностью транспортировки сыпучих материалов, т.к. мелкодисперсные материалы подвержены рассеиванию ветром. Для подбора оптимального метода укрупнения отходов нужно определить, как далеко будет осуществляться транспортировка, сколько перегрузок будет проходить материал и каким способом будет осуществляться загрузка в металлургическую печь [2, с.84].

Одним из способов окускования отходов прямого восстановления железа является холодное брикетирование, данный метод применим к шламам, металлизированной мелочи или же их комбинации в различном соотношении [3, с.6-7].

На территории завода горячебрикетированного железа были отобраны 2 пробы шламов, проба №1 из шламоотстойника и проба №2 из закрома технологического классификатора ЦГБЖ-2, также для проведения экспериментов была взята металлизированная мелочь. Рассмотрим возможность брикетирования полученных проб №1-2 с предприятия АО «Лебединский ГОК» с помощью холодного брикетирования.

Методика проведения эксперимента в лабораторных условиях.

Методика проведения эксперимента по возможному изготовлению брикетов (рис. 1) из шламов ГБЖ «Лебединский ГОК» представлена ниже:



А – смешивание шихты Б – гидравлический пресс В – готовый брикет

Рис. 1 – Процесс получения брикета в лабораторных условиях

1) Подготовка шихты велась в строгой пропорции: 5% связующего от общей массы шихты. Связующими выступили клей ПВА и жидкий пластик. Процесс подготовки представлен на рисунке 1А.

2) Масса шихты составляла 70г и заполняли ею специальную форму в гидравлическом прессе (рис. 1Б).

3) Процесс прессования происходил при давлении 400 Бар при выдержке 5 минут.

4) По истечению 5 минут выдержки извлекали полученный брикет из формы. Получившийся брикет представлен на рисунке 1В.

5) Получившиеся брикеты подвергались естественной сушке в течение двух суток для процесса формирования прочностных свойств.

6) После процесса выдержки брикеты подвергались испытаниям на сжатие на прессе с фиксацией предельной силы и сбросу с высоты двух метров на металлическое основание (имитация загрузки в сталеплавильный агрегат или же отгрузка на склад готовой продукции).

В условиях кафедры ММ СТИ НИТУ «МИСИС» были проведены экспериментальные исследования по возможному изготовлению брикетов из полученных проб шлама по представленной выше методике. Эксперименты производились со шламом, взятым непосредственно из шламоотстойника ЗГБЖ.

Результаты прочностных испытаний брикетов из шлама шламоотстойника ЗГБЖ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний брикетов из шлама шламоотстойника ЗГБЖ на прочность

№ Образца	Предельная сила сжатия, кгс	Количество падений с высоты 2 м, раз
1	1301	1
2	1094	2
3	899	2
Среднее	1098	2

Результаты прочностных испытаний брикетов из шлама, отобранного непосредственно из закрома технологического классификатора ЦГБЖ-2 представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Прочность брикетов из шлама, отобранного из закрома технологического классификатора ЦГБЖ-2

№ Образца	Предельная сила сжатия, кгс	Количество падений с высоты 2 м, раз
-----------	-----------------------------	---

1	1344	2
2	1176	3
3	1325	2
Среднее	1281,667	2

Далее проводили лабораторные эксперименты по изготовлению брикетов из шлама с жидким пластиком в качестве связующего материала.

Прочность брикетов из шлама, отобранного из закрома технологического классификатора ГБЖ-2, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты прочностных испытаний брикетов из шлама, отобранного из закрома технологического классификатора ГБЖ-2

№ Образца	Предельная сила сжатия, кгс	Количество падений с высоты 2 м, раз
1	3878	16
2	3717	13
3	3513	15
Среднее	3702,667	15

Исследования показали, что брикеты при использовании жидкого пластика в качестве связующего обретают прочностные свойства за 5-7 минут после процесса прессования. После выдержки в естественных условиях брикеты также подвергались испытаниям на сжатие и сбросу с высоты двух метров на металлическое основание.

Выводы.

На кафедре ММ СТИ НИТУ МИСИС в лаборатории проводились опыты, на основании которых можно сказать, что получены брикеты, которые обладают следующими характеристиками:

- 1) Прочностные характеристики брикетов с применением связующего - жидкого пластика, имеют прочность на сжатие на 65%, а на сброс более, чем на 80% выше;
- 2) При расплавлении брикетов связующее выгорает, при этом выделение газа незначительное, так как содержание связующего составляет 5% от общей массы брикета;
- 3) Кроме того, в брикеты можно дополнительно вводить необходимые добавки для последующего передела (например, углерод);

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». – М.: Минприроды России; НИА-Природа, 2016 – 231 с.
2. Тимофеева, Д. С. Утилизация и использование металлургических отходов при прямом восстановлении железа / Д. С. Тимофеева // Научные исследования и разработки студентов: материалы Междунар. студенч. науч.–практ. конф. (Чебоксары, 5 сент. 2016 г.) / ред. кол.: О. Н. Широков [и др.]. — Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. — С. 83–85.
3. Юзов, О.В., Исаев, В.А. Анализ расхода основных ресурсов в черной металлургии России / О.В. Юзов, В.А. Исаев // Сталь. – 1999.– №10.–С.6-8.

ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Ешукова О.П.

*Старооскольский филиал ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Россия, г. Старый Оскол
309502, г. Старый Оскол, мкр. Солнечный, д. 18*

***Аннотация.** В статье рассматривается ключевая роль производственных предприятий в современном экономическом развитии и их значительное влияние на окружающую среду. Основной мыслью исследования является необходимость осознания масштабов экологических проблем, вызванных промышленной деятельностью, и поиск решений для минимизации негативного воздействия на природу и здоровье человека.*

Ключевые слова: промышленные предприятия; окружающая среда; загрязнение; дефорестация; устойчивое развитие.

THE IMPACT OF A MANUFACTURING ENTERPRISE ON THE ENVIRONMENT

Eshukova O.P.

*Stary Oskol branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Belgorod State National Research University", Russia, Stary Oskol
oeshukova@yandex.ru*

***Abstract.** The article examines the key role of manufacturing enterprises in modern economic development and their significant impact on the environment. The main idea of the research is the need to understand the scale of environmental problems caused by industrial activity and to find solutions to minimize the negative impact on nature and human health.*

Keywords: industrial enterprises; environment; pollution; deforestation; sustainable development.

В современном мире производственные предприятия играют ключевую роль в экономическом развитии. Однако продукция, которую они создают, часто имеет значительное влияние на окружающую среду. В этом исследовании будет подробно рассмотрено, как именно производственные процессы воздействуют на экологическую ситуацию, а также какие меры могут быть предприняты для минимизации негативных последствий. [3]

Производственные предприятия, включая заводы и фабрики, являются основными источниками загрязнения. Они могут выбрасывать в атмосферу вредные вещества, загрязнять водоемы и ухудшать качество почвы. Исследования показывают, что около 70% загрязнения воды связано именно с деятельностью промышленных предприятий. Это подчеркивает важность понимания масштаба проблемы и необходимости разработки эффективных решений.

Производственные процессы не только влияют на непосредственно окружающую среду, но и оказывают влияние на здоровье человека. Постоянное воздействие загрязнений может вызывать различные заболевания, включая респираторные инфекции и сердечно-сосудистые заболевания. В результате важно рассмотреть, какие факторы способствуют загрязнению и как можно уменьшить их влияние.

Существует несколько ключевых источников загрязнения, которые чаще всего ассоциируются с производственными предприятиями. Среди них можно выделить:

Значительная часть загрязнения окружающего воздуха происходит из-за выбросов вредных газов от производственных процессов. Заводы, использующие ископаемые виды топлива, такие как уголь или нефть, выделяют углекислый газ (CO_2), оксиды серы (SO_x) и оксиды азота (NO_x). Эти вещества не только способствуют глобальному потеплению, но и являются основными компонентами смога, который негативно сказывается на здоровье населения.

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, загрязнение воздуха связано с миллионами преждевременных смертей каждый год. Совокупное воздействие загрязнения окружающего воздуха и воздуха внутри жилых помещений является фактором преждевременной смерти 6,7 млн человек в год. Поэтому важно учитывать, каким образом компании могут сократить объем выбросов. [4]

Уменьшение загрязнения водоемов – еще одна важная задача. Предприятия часто сбрасывают стоки в реки и озера, что приводит к ухудшению качества воды. Химические вещества, такие как тяжелые металлы и пестициды, могут накапливаться в экосистемах, что наносит вред флоре и фауне.

К тому же, загрязнённая вода может повлиять на здоровье местного населения. Например, в некоторых регионах наблюдаются случаи отравления из-за потребления воды, загрязнённой стоками. Это подчеркивает важность контроля за сбросами отходов и разработки систем очистки.

Продолжая углубляться в вопросы воздействия производственных процессов, нельзя не отметить проблему истощения природных ресурсов. Для производства товаров требуются такие ресурсы, как вода, древесина и минеральные вещества. Чересчур интенсивная

эксплуатация этих ресурсов приводит к их истощению и разрушению экосистем.

Дефорестация, вырубка лесов и переэксплуатация водоемов – всё это последствия промышленной деятельности, которые могут оказать негативное влияние на климат и биоразнообразие. Для сохранения экосистем необходимо осознанно относиться к прочим ресурсам и использовать устойчивые методы имея в виду будущее нашего поколения.

Как отмечают Р.Р. Набиуллина и В.Н. Никитин, «существуют различные стратегии для снижения негативного воздействия производственных предприятий на окружающую среду. Они включают в себя как технологические, так и организационные решения». [2]

Одним из эффективных способов снижения загрязнения является внедрение зеленых технологий. Это может включать в себя использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечная или ветровая энергия. Например, переход на биомассу или солнечные панели может существенно снизить выбросы парниковых газов.

Также стоит обратить внимание на проекты по утилизации отходов. Эффективное управление отходами, включая переработку и повторное использование материалов, помогает сократить объемы производственного мусора и минимизировать его негативное влияние на окружающую среду.

Для оптимизации производственных процессов предприятиям следует разработать и внедрить более эффективные системы управления, ориентированные на снижение воздействия на экосистему. Это может включать в себя внедрение системы экологического менеджмента, которая позволит отслеживать и анализировать экологические показатели.

К примеру, регулярные аудиты и мониторинг уровня выбросов могут помочь выявить проблемные области и определить пути для улучшения процессов. В дальнейшем это позволит значительно сократить негативное влияние на окружающую среду. [1]

Не менее важным аспектом является обучение сотрудников предприятия принципам устойчивого развития. Создание культуры осознанного потребления и заботы о природе может оказать значительное влияние на уровень экологической осведомленности.

С помощью программ обучения сотрудники могут научиться выявлять точки воздействия на окружающую среду в своих рабочих процессах и разрабатывать шаги для их сокращения. Обмен опытом между компаниями также может привести к улучшению практик и успехам в области охраны окружающей среды.

Государственные органы играют важную роль в регулировании деятельности производственных предприятий. Принятие строгих экологических норм и стандартов способствует контролю за загрязнением и защитой окружающей среды.

Законы, регулирующие выбросы загрязняющих веществ и использование природных ресурсов, могут создать эффективную правовую основу для защиты природы. Например,

введение налогов на выбросы парниковых газов заставляет компании искать более чистые технологии для производства.

Кроме того, авторитетные организации, такие как экологические агентства, должны регулярно проводить мониторинг и оценку экологического состояния, что поможет выявить безответственные практики и привлечь компании к ответственности.

Государственная поддержка, такая как субсидии на внедрение природосберегающих технологий, может значительно ускорить переход к более устойчивым методам производства. Такие программы помогают предприятиям снизить затраты на модернизацию и переход к более экологически чистым методам.

Таким образом, государство оказывает важное влияние на стимулирование устойчивого развития и защиту окружающей среды.

Влияние производственных предприятий на окружающую среду является сложным и многогранным вопросом. Каждый из перечисленных факторов, таких как выбросы в атмосферу, загрязнение водоемов и разрушение природных ресурсов, представляет собой серьезную угрозу для экосистем и здоровья населения. К счастью, существуют различные методы, которые могут помочь в уменьшении негативного воздействия, включая внедрение зеленых технологий, совершенствование процессов управления и обучение персонала.

Совершенствование законодательства и активные действия государства также играют важную роль в решении этой проблемы. Объединив усилия общества, бизнеса и правительства, мы можем стремиться к более устойчивому и безопасному будущему. Основной задачей на данный момент является создание такого подхода к производству товаров, который учитывал бы интересы как экономики, так и защиты окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Гусева Т.В., Дайман С.Ю. Оценка воздействия на окружающую среду и экологический аудит промышленных предприятий: анализ методологий / Хим. технол. – 2020. – №4. – С. 34-43.
2. Набиуллина Р.Р., Никитин В.Н. Механизм управления воздействием на окружающую среду промышленными предприятиями / Международный форум по проблемам науки, техники и образования: III тысячелетие - новый мир. – Москва: Изд. академии наук о земле, 2021. – 29 с.
3. Никитин, В.Н. Эколого-экономический анализ: проблемы и методика проведения: монография / В.Н. Никитин. – Москва: Палеотип, 2022. – 124 с.
4. Официальный сайт Всемирной организации здравоохранения [Электронный ресурс] – URL: <https://www.who.int/ru> (дата обращения: 12.11.2024).

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ, НАНЕСЕННЫЕ ДЕТОНАЦИОННЫМ МЕТОДОМ НА ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Зайцев С.В.

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,

Россия, г. Белгород

sergey-za@mail.ru

***Аннотация.** В данной работе представлен метод нанесения защитных покрытий с использованием детонационного газотермического напыления. Исследуется технологический режим по нанесению покрытий из двух типов порошков: чистого Al_2O_3 и композитного порошка, состоящего из 69 вес.% MgO – 29 вес.% Al_2O_3 – 2 вес.% Cr_2O_3 , на поверхность высокоглиноземистого шамотного огнеупора. Результаты показывают, что полученные покрытия плотной слоистой структуры, пористость которых составляет менее 1,4 %, и без трещин. В ходе испытаний на смачиваемость расплавом стекла было установлено, что огнеупоры, покрытые Al_2O_3 и $MgAl_2O_4$, демонстрируют наименьшую скорость уменьшения краевого угла по сравнению с огнеупором без покрытия, что свидетельствует о высокой эффективности разработанных защитных покрытий. Данные результаты подчеркивают перспективность применения детонационного газотермического напыления для улучшения эксплуатационных характеристик огнеупоров в условиях высоких температур и агрессивной среды.*

Ключевые слова: защитные покрытия; детонационное газотермическое напыление; корунд; шпинель; угол смачивания.

PROTECTIVE COATINGS APPLIED BY DETONATION METHOD TO REFRACTORY MATERIALS

Zaitsev S.V.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, Russia, Belgorod

sergey-za@mail.ru

research engineer

***Abstract.** The present work presents a method for applying protective coatings using detonation gas-thermal spraying. The technological regime for applying coatings from two types of powders is investigated: pure Al_2O_3 and a composite powder consisting of 69 wt.% MgO – 29 wt.% Al_2O_3 – 2 wt.% Cr_2O_3 , on the surface of high-alumina chamotte refractories. The results show that*

the obtained coatings have a dense layered structure, with porosity of less than 1.4 % and no cracks. During wettability tests with molten glass, it was found that the refractories coated with Al_2O_3 and $MgAl_2O_4$ demonstrate the lowest rate of decrease in the contact angle compared to the uncoated refractory, indicating the high efficiency of the developed protective coatings. These results emphasize the potential of using detonation gas-thermal spraying to enhance the operational characteristics of refractories under high-temperature and aggressive environments.

Keywords: protective coatings; detonation thermal spraying; corundum; spinel; wetting angle.

Современные достижения в области науки и техники предъявляют высокие требования к огнеупорным материалам, поскольку часто эксплуатируются при повышенных температурах в агрессивных средах, что в свою очередь приводит к механической эрозии и химической коррозии [1–3]. Однако на практике использование эффективных и, соответственно, дорогостоящих огнеупоров иногда невозможно или неоправданно, поэтому чаще всего выбираются более доступные, но менее надежные огнеупорные материалы, которые не способны эффективно противостоять многочисленным разрушительным условиям. В результате это приводит к негативным последствиям, таким как ускоренный износ огнеупоров, рост потребления сырья для производства огнеупоров, что в свою очередь увеличивает затраты и оказывает отрицательное влияние на экологическую ситуацию.

Весьма интересным в этом плане является увеличение срока службы огнеупорных материалов промышленных печей за счет нанесения защитного покрытия на их поверхность. Данное покрытие способствует уменьшению смачиваемости агрессивными расплавами, что способствует повышению коррозионной и эрозионной стойкости огнеупорных материалов [4–7]. Такой метод помогает сократить объем производственных затрат и более рационально использовать природные ресурсы.

Среди множества методов нанесения защитных покрытий особое внимание заслуживает технология детонационного газотермического напыления. Этот метод эффективно решает задачи защиты как отдельных деталей, так и целых конструкций от износа, коррозии и воздействия агрессивных сред [8–10]. Покрытия, полученные с помощью данной технологии, подходят для формирования на поверхности изделий структур, обладающих функциональными свойствами, отличными от свойств основного материала. Основное применение детонационного газотермического напыления сосредоточено на создании защитных покрытий на различных поверхностях, что делает его особенно эффективным для нанесения керамических порошков на поверхность огнеупорных материалов. Это открывает новые возможности для повышения долговечности и

устойчивости огнеупоров в условиях высоких температур и агрессивных сред, а также позволяет улучшить эксплуатационные характеристики изделий, что в свою очередь может привести к снижению затрат на обслуживание и увеличению срока службы оборудования.

Цель данной работы заключается в увеличении срока эксплуатации огнеупорных материалов путем нанесения на их поверхность защитного покрытия. Покрытия позволят уменьшить смачиваемость огнеупорных материалов агрессивными расплавами, что, в свою очередь, повысит их устойчивость к эрозионным и коррозионным процессам.

Два типа порошков, чистый Al_2O_3 и композитный порошок 69 вес.% MgO – 29 вес.% Al_2O_3 – 2 вес.% Cr_2O_3 , использовались в качестве сырья для получения защитных покрытий корунда и шпинели. На поверхность огнеупоров из высокоглиноземистого шамота методом детонационного напыления с использованием многокамерной детонационной установки наносили защитные покрытия. Использовали ствол длиной 500 мм и диаметром 16 мм. В качестве топливного газа использовали кислород и пропан-бутановую смесь, а в качестве газа-носителя порошка использовался воздух. Частота повторения детонации составляла 20 Гц. Скорость перемещения установки составила 2000 мм/мин, расстояние до образца было установлено на уровне 60 мм. Режимы работы детонационного устройства в процессе нанесения покрытий шпинели ($MgAl_2O_4$) и оксида алюминия (Al_2O_3) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры нанесения покрытий Al_2O_3 и $MgAl_2O_4$

Расход компонентов горючей смеси, м ³ /ч			Подача порошка, г/ч
воздух	кислород	30 % пропан – 70 % бутан	
1,41*/0,85**	3,13/3,68	0,63/0,68	500

* – цилиндрическая камера сгорания; ** – кольцевая камера сгорания

После нанесения покрытий Al_2O_3 и $MgAl_2O_4$ было отмечено, что средняя измеренная толщина составляет около 252 и 305 мкм соответственно, с небольшими отклонениями, это указывает на стабильность процесса нанесения и равномерность распределения материала покрытия. Покрытия обладают пластинчатой плотной структурой, что может способствовать улучшению их механических свойств и противостоять эрозии. Дефектов, таких как микротрещины и отслаивания отмечено не было, что говорит о высоком качестве нанесенных покрытий и их способности эффективно противостоять инфильтрации расплавам стекла и шлака. Пористость покрытий Al_2O_3 и $MgAl_2O_4$ составила менее 1,4 %. Граница между покрытием и огнеупором гомогенная, что говорит о качественном адгезионном взаимодействии между покрытием и огнеупорным материалом, это является важным фактором для обеспечения долговечности и надежности покрытий в эксплуатации.

Испытание покрытий на смачиваемость поверхностью расплавом боросиликатного стекла проводили по значению краевого угла смачивания, который определяли по фотографиям «лежащей капли» в температурном диапазоне от 800 до 1250 °С. Используемые расплавы имитируют условия, характерные для стекольной промышленности. Во всех испытаниях масса капли расплава составляла 2 г.

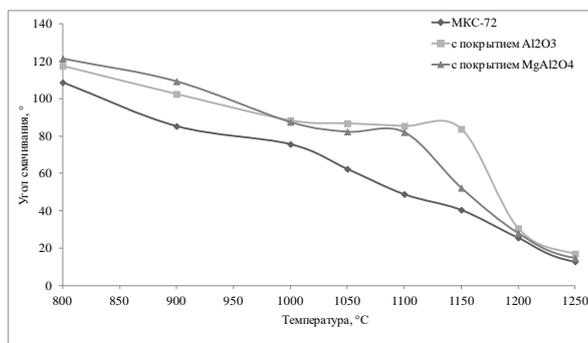


Рис. 1. – Зависимость краевого угла смачивания от температуры

На представленном графике (рис. 1) показана зависимость краевого угла смачивания от температуры для трёх различных материалов: МКС-72, образца с покрытием Al_2O_3 и образца с покрытием $MgAl_2O_4$. Анализ графика демонстрирует, что с увеличением температуры краевой угол смачивания уменьшается для всех трёх материалов, что свидетельствует о повышении их смачиваемости. Однако скорость этого изменения варьируется в зависимости от материала. В частности, материал МКС-72 показывает наиболее резкое снижение краевого угла смачивания, что может указывать на его высокую реакцию на температурные изменения. В то же время, образец с покрытием $MgAl_2O_4$ демонстрирует наименьшую скорость уменьшения краевого угла, что может свидетельствовать о его более стабильном поведении при повышенных температурах.

Защитные покрытия, наносимые на поверхность высокоглиноземистых шамотных огнеупоров, методом детонационного газотермического нанесения, способны снизить пористость огнеупорного материала в 2 раза. Это значительно улучшает механическую прочность огнеупора и повышает его износостойкость. Изменение этих характеристик приводит к снижению эрозии и коррозии огнеупорных материалов в 2–3 раза, что, в свою очередь, способствует увеличению срока службы огнеупорных материалов тепловых установок. Использование защитных покрытий не только повышает эксплуатационные свойства огнеупоров, но и гарантирует более надежную и долговечную работу тепловых установок. В конечном итоге, может привести к значительному сокращению затрат на техническое обслуживание и ремонт, а также повысить общую эффективность работы.

Внедрение таких технологий представляет собой важный шаг к оптимизации промышленных процессов и снижению рисков, связанных с эксплуатацией огнеупорных материалов.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки РФ № FZWN-2023-0006 с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Smith-Gray N.J., Bussey J.M., McCloy J.S. Microstructural examination of interactions between chromia-based refractory and nuclear glass in a melter // Journal of the American Ceramic Society. 2022. Vol. 105. Issue 12. P. 7760–7769.
2. Poirier J., Qafssaoui F., Ildefonse J.P., Bouchetou M.L. Analysis and interpretation of refractory microstructures in studies of corrosion mechanisms by liquid oxides // Journal of the European Ceramic Society. 2008. Vol. 28. Issue 8. P. 1557–1568.
3. Mulevanov S.V., Nartsev V.M., Doroganov V.A., Doroganov E.A., Zaitsev S.V. Aspects of the corrosion of refractories in structured aggressive media // Refractories and Industrial Ceramics. 2012. Vol. 53. P. 226–228.
4. Kessman A.J., Ramji K., Morris N.J., Cairns D.R. Zirconia sol–gel coatings on alumina–silica refractory material for improved corrosion resistance // Surface and Coatings Technology. 2009. Vol. 204. Issue 4. P. 477–483.
5. Nwaogu U.C., Poulsen T., Stage R.K., Bischoff C., Tiedje N.S. New sol–gel refractory coatings on chemically-bonded sand cores for foundry applications to improve casting surface quality // Surface and Coatings Technology. 2011. Vol. 205. Issue 16. P. 4035–4044.
6. Подболотов К.Б., Дятлова Е.М., Попов Р.Ю., Волочко А.Т. Керамические покрытия для защиты конструкционных элементов теплотехнических установок // Огнеупоры и техническая керамика. 2013. № 11–12. С. 68–71.
7. Franco D., Ageorges H., Lopez E., Vargas F. Tribological performance at high temperatures of alumina coatings applied by plasma spraying process onto a refractory material // Surface and Coatings Technology. 2019. Vol. 371. P. 276–286.
8. Sirota V., Zaitsev S., Prokhorenkov D., Limarenko M., Skiba A., Kovaleva M. NiB–CrC coatings prepared by magnetron sputtering using composite ceramic NiCr–BC target produced by detonation spray coating // Nanomaterials. 2022. Vol. 12. Issue 20. Article number 3584.
9. Kovaleva M., Prozorova M., Arsenko M., Tyurin Y., Kolisnichenko O., Yaprlyntsev M., Sirota V. Zircon-based ceramic coatings formed by a new multi-chamber gas-dynamic accelerator // Coatings. 2017. Vol. 7. Issue 9. Article number 142.

10. Sirota V., Pavlenko V., Cherkashina N., Kovaleva M., Tyurin Y., Kolisnichenko O. Preparation of aluminum oxide coating on carbon/carbon composites using a new detonation sprayer // International Journal of Applied Ceramic Technology. 2021. Vol. 18. Issue 2. P. 483–489.
11. Kovaleva M., Tyurin Y., Vasilik N., Kolisnichenko O., Prozorova M., Arsenko M., Danshina E. Deposition and characterization of Al₂O₃ coatings by multi-chamber gas-dynamic accelerator // Surface and Coatings Technology. 2013. Vol. 232. P. 719–725.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО ДЕЛА В РОССИИ

Иванова Т.В., Колмыков В.Р.

*Старооскольский геологоразведочный институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (СГИ МГРИ)
Российская Федерация, Белгородская обл., Старый Оскол
tanya.031@mail.ru, kolmikov.vitalik@yandex.ru*

***Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы обнаружения в природе, структуры и строения нефти. Рассказывается о первооткрывателях нефти в России. А также говорится о влиянии нефти на жизнь человека.*

Ключевые слова: нефть; добыча нефти; переработка; влияние нефти на жизнь человека.

THE HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF THE OIL AND GAS BUSINESS IN RUSSIA

Ivanova T.V., Kolmykov V.R.

Starooskolsky Geological Prospecting Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting» (SGI MGRI)

***Abstract.** The article discusses the issues of detection in nature, structure and structure of oil. It tells about the discoverers of oil in Russia. It also talks about the impact of oil on human life.*

Keywords: oil; oil production; processing; the impact of oil on human life

Актуальность исследования. Нефть не случайно называют кровью современного мира. В ее состав входит более ста компонентов, которые используют в повседневной деятельности, от фармацевтики до ракетостроения. Это не только топливо для самолетов, машин, кораблей и поездов, но и детские игрушки, одежда, лекарства, и даже еда. Но кто и когда открыл свойства этой горючей жидкости? Почему нефть называют «черным золотом»? И сможет ли человечество прожить без нефти?

Нефть – природная маслянистая горючая жидкость со специфическим запахом, состоящая в основном из сложной смеси углеводородов различной молекулярной массы и некоторых других химических соединений. В её состав входит около 84% углерода, примерно 14% водорода, 3% серы (что не желательно для нефти), а все остальное азот и

кислород. Также нефть всегда содержит в качестве примеси небольшое количество воды и неорганических веществ. Нефть может отличаться по цвету, это зависит от того, как давно и при каких условиях она образовывалась. Чем легче нефть, тем меньше её вязкость.

Существует 2 теории образования нефти: биогенная и абиогенная. Биогенная теория гласит, что нефть образовалась благодаря продуктам распада мелких организмов миллионы лет назад. Абиогенная теория противоречит этому и гласит, что нефть образовалась в ходе химических реакций при большой температуре и давлении. Цвет нефти обычно чёрный. Иногда бывает от грязно-жёлтого до тёмно-коричневого. Реже встречается окрашенная в светлый жёлто-зелёный цвет, а также насыщенно-зелёная. Но самый редкий цвет нефти – оранжевый.

Первое упоминание об обнаружении нефти в России относят к 16 веку. В заметках путешественников того времени найдены описания, как люди, живущие недалеко от реки Ухты, собирали нефть с её поверхности и использовали в медицине, а также в качестве смазывающего материала. В 1687 году в свет вышел труд известного голландского ученого и государственного деятеля Николааса Витсена «Северная и Восточная Тартария» в двух томах, посвященный описанию Сибири. В своем сочинении Витсен рассказал о том, что на реке Ухте, в сутках езды от города Печора, есть место, где из воды выделяется черный жир, так он назвал – нефть [1,2].

В 1874 году в мире начался нефтяной бум. Нефть была нужна в основном как источник керосина, а оставшуюся после его добычи массу – мазут – не считали полезным продуктом и просто уничтожали. Дело в том, что мазут тогда не умели использовать в качестве топлива, поскольку он горит лишь на поверхности – медленно и почти не выделяя тепла. Владимир Шухов придумал способ использовать его как горючее. Инженер понял, что для хорошего горения мазута нужна большая площадь соприкосновения с воздухом. Для этого нужно было распределить массу по большой плоскости или превратить ее в мелкие капли. Так появилась форсунка Шухова, в которой горячий пар смешивается с мазутом, в результате чего получается горючая взвесь. Также Шухов изобрел установку термического крекинга (расщепления) нефти: это высокотемпературная переработка нефти и ее фракций с целью получения продуктов меньшей молекулярной массы. Крекингом этот способ назвали потом, в США, когда расщепление нефти стали применять для получения бензина для автомобилей. В. Шухов выяснил, что, нагревая нефть под высоким давлением, можно получить в два раза больше керосина, чем в ней содержится. Чтобы нагреть нефть до нужной температуры, он предложил использовать не обычные кубы, а трубчатые печи: множество отдельных труб идеально подходит для нагрева жидкостей. При такой дробной перегонке нефти в трубчатой печи получался не только керосин, но и бензин [3].

Братья Нобели и семейство Ротшильдов сыграли ключевую роль в развитии нефтяной промышленности в Баку, бывшего в то время частью Российской империи. Ротшильды продолжили развитие нефтедобывающего сектора в России. В 1900 г. они создали одну из крупнейших нефтяных компаний «Русский стандарт», расположенную в Грозненском нефтяном районе. При участии иностранного капитала и российской нефтяной промышленности русская нефть активно начала экспортироваться на мировой рынок. Россия нуждалась в расширении экспорта нефти, прежде всего керосина и смазочных масел, спрос на которые внутри страны был удовлетворен. Грозненская нефть, хорошего качества при сравнительно низкой цене, пользовалась огромным спросом на рынке. Однако отсутствие резервуаров для хранения нефти приводило к значительным потерям сырья и создавало высокую пожароопасность. Промышленность очень быстро развивалась, и на рубеже 19-го и 20-го веков на долю России приходилось более 30% мировой добычи нефти. В 19 веке заработал первый нефтепровод. Братья Нобели благодаря нефтяной промышленности заработали большое состояние, поэтому эту черную маслянистую жидкость прозвали «черным золотом» [4].

Как нефтяная промышленность повлияла на СССР? В 20-м веке роль нефти как традиционного сырья для горючего резко возросла. «Воевать без нефти нельзя, а кто имеет преимущество в деле нефти, тот имеет шансы на победу в грядущей войне», – отмечал Иосиф Сталин еще в декабре 1927 года. В январе 1941-го, выступая на заседании Главного Военного совета, он высказал похожую мысль: «Современная война будет войной моторов: моторы на земле, моторы в воздухе, моторы на воде и под водой. В этих условиях победит тот, у кого будет больше моторов». Ключевую роль на фронтах Второй мировой войны играли танки, авиация и флот, которые не могли работать без топлива. История подтвердила, что именно обеспеченность армий горючим во многом определяет исход борьбы. Это понимал и Гитлер, расценивая захват СССР как открытие доступа к горючему. Накануне Второй мировой войны добыча нефти в Германии составляла всего 550 тыс. тонн, что не покрывало даже 10% собственных потребностей страны. Львиная доля сырья была привозной, причем 80% импортировалось «из-за океана».

С началом войны рассчитывать на эти поставки уже не приходилось. Румыния, заключившая нефтяной пакт с Берлином, не справлялась с растущими задачами. Исправить ситуацию могло вторжение в Советский Союз – в то время вторую в мире и первую на евразийском континенте нефтяную державу с ежегодной добычей свыше 31 млн. тонн. Боевые действия увеличивали потребление горюче-смазочных материалов – если в 1943 году оно выросло на 43% по сравнению с мирным временем, то к 1945-му – уже на 73% из-за роста количества военной техники и масштабов наступлений.

У советских нефтяников был свой «фронт», на котором они сражались под лозунгом: «Мы знаем, что значит нефть на войне. Пусть мы далеки от боевых фронтов, но мы являемся той же самой действующей армией и дадим нефти стране столько, сколько ей потребуется. Все силы – на выполнение и перевыполнение плана! Каждая тонна нефти – это наш залп по Гитлеру». Люди работали сутками, в условиях недоедания и недосыпа. Каждому приходилось работать за троих, совмещать несколько профессий. Мужчин, ушедших на фронт, на промыслах заменили их жены, которые выполняли даже буровые работы. В годы войны женщины составляли половину тружеников нефтяной отрасли! Выстояв в первые – самые тяжелые месяцы войны и пережив критические 1942 – 1943-е годы, нефтяники вновь начали наращивать производство. Фронт был надежно обеспечен топливом, и это сказалось на параметрах отечественной техники.

Советские конструкторы могли создавать лучшие образцы военных машин, закладывая более высокую мощность и оснащенность, увеличивая характеристики прочности. Прославленный танк Т-34 1940 – 1941 годов имел расход топлива по шоссе – 140 литров на 100 км. Усовершенствованная модель 1942 года расходовала уже 150 литров, а машина 1943 года выпуска – еще на 5 литров больше. Обновленный танк имел лучшее бронирование, вооружение, скорость, маневренность, запас хода. В то время как Советский Союз, сохранивший свой нефтяной потенциал, наращивал мобильность и мощь боевой техники, Германия постепенно шла к топливному краху. Окончательное поражение для Германии произошло в мае 1944 года. «Современная война – есть война моторов. Но моторы сами по себе – безжизненная сталь. Для того чтобы они работали, приносили пользу, разили врага, нужен бензин. Бензин – кровь самолетов, танков, автомобилей, индустрии. Наши нефтяники оживляют холодную сталь моторов, приводят их в действие. Они дадут фронту столько горючего, сколько нужно для полного разгрома врага» [5].

В современных условиях экономики России перспективными направлениями развития нефтегазовой отрасли являются разработка буровых установок, установок горизонтального бурения, морских плавучих платформ, а также насосного оборудования и отечественного программного обеспечения. Данные разработки помогут снизить риски по реализации проектов на арктическом шельфе и развить собственную промышленность. Наличие собственных технологий позволит повысить привлекательность российских компаний на международной арене. В частности, российские компании смогут участвовать в иностранных шельфовых проектах и расширять сферу влияния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Краткая история добычи нефти в России. Нефтегазовый портал. URL: <https://petrodigest.ru/articles/kratkaja-istorija-dobychi-nefti-v-rossii/> (Дата обращения 18.10.2024 г.).
2. Кучинский Д.М., Дятлов Н.В. История развития нефтедобычи// Труды Крыловского государственного научного центра. 2021 S1. С. 352-354. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47564350> (Дата обращения 25.10.2024 г.).
3. Нефтяные изобретения Владимира Шухова. URL: <https://gge.ru/press-center/news/neftyanye-izobreteniya-vladimira-shukhova/> (Дата обращения 25.10.2024 г.).
4. Нефтедобыча в России на рубеже XIX-XX веков: Ротшильды против Рокфеллеров. Национальная ассоциация нефтегазового сервиса. URL: <https://nangs.org/news/upstream/neftedobycha-v-rossii-na-rubezhe-xix-xx-vekov-rotshilydy-protiv-rokfellerov> (Дата обращения 18.10.2024 г.).
5. Нефть для победы// Нефть и газ Сибири. 2020 №2(39). URL: <https://sectormedia.ru/articles/neft-dlya-pobedy/> (Дата обращения 20.05.2024 г.).

УДК 621.772:678.067

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАМОТКИ ШАР-БАЛЛОНА С ПОЛИМЕРНЫМ ЛЕЙНЕРОМ

Ивановская О.В.

Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»»

309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42

Аннотация. В работе представлен расчет технологических параметров намотки композитного шар-баллона с полимерным лейнером и предложен алгоритм реализации технологии намотки.

Ключевые слова: шар-баллон; давление; лейнер; полиэтилен; многозонная намотка, армирующий материал; лента; натяжение; контактное давление.

CALCULATION OF THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE WINDING OF A COMPOSITE HYDROGEN CYLINDER WITH A POLYMER LINER

Ivanovskaya O.V.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS» Russia, Stary Oskol

Abstract. The paper presents the calculation of the technological parameters of winding a composite balloon with a polymer liner and proposes an algorithm for implementing the winding technology.

Keywords: balloon; pressure; liner; polyethylene; multi-zone winding, reinforcing material; tape; tension; contact pressure.

Введение

Эффективность применения композиционных материалов (КМ) в баллонах высокого давления (БВД), изготавливаемых намоткой армирующего материала (АМ), представляется несомненной. Однако современные композитные материалы не обеспечивают требуемую герметичность. При действии внутреннего давления в матрице композитной стенки баллона появляются микротрещины, вызывающие высокую проницаемость для газов и жидкостей. Поэтому, для обеспечения герметичности в конструкции композитного баллона необходим

внутренний герметизирующий слой, называемый лейнером.

Практически все композитные баллоны имеют металлические или полимерные лейнеры, которые используются в качестве оправки при намотке композитного слоя.

Наиболее перспективными в мировой практике являются ракеты-носители с использованием шар-баллонов. Они обеспечивают работу вытеснительных систем подачи топлива к ракетным двигателям и пневмоавтоматики [1]. Производство отечественных баллонов стало наиболее актуально в свете **программы импортозамещения**, когда предприятия-поставщики металлических шар-баллонов высокого давления находятся за пределами России, а имеющийся парк воздушных судов гражданской авиации и военно-космических сил снаряжен баллонами с истекающими сроками эксплуатации.

На территории России в АО "Конструкторское бюро химавтоматики" разработана импортозамещающая технология, обеспечивающая замкнутый производственный цикл изготовления титановых шар-баллонов [2]. Металлокомпозитные шар-баллоны с лейнером из нержавеющей стали, стойкой к воздействию агрессивных сред, объёмом 25 литров на рабочее давление 33,3 МПа, предназначенные для космической промышленности, производит ЗАКБ «САФИТ» (рисунок). К настоящему времени создана и отработана технологическая цепочка серийного производства баллонов [3].



Рис. 1 – Композитный шар-баллон

При изготовлении композитного баллона с металлическим лейнером существует ограничение, связанное с малыми деформациями разрушения металлических оболочек в зоне сварного шва, что не позволяет полностью реализовать прочность однонаправленных КМ, деформации разрушения которых значительно выше. Композитные сферические баллоны, полученные методом зональной намотки на полимерную (полиэтиленовую) оболочку,

максимально реализуют прочность однонаправленных КМ [4].

В работе [5] по предложенной методике расчета толщины АМ в слоях многозонной намотки композитного шар-баллона была получена работоспособная конструкция минимальной массы при следующих исходных данных:

- рабочее внутреннее давление в баллоне $P = 300 \text{ кг/см}^2$;
- нормативный коэффициент запаса прочности $n = 2$. (Для композитных оболочек задается в каждом конкретном случае в зависимости от назначения оболочки и используемого композитного материала [6]);
- линейная плотность углежгута $T = 830 \text{ текс}$;
- массовая плотность углежгута $\gamma = 1,78 \text{ г/см}^3$;
- количество жгутов в ленте АМ – 1;
- ширина ленты АМ из одного жгута $a = 0,6 \text{ см}$.
- внешний диаметр (экватор) лейнера шаробаллона $D = 50 \text{ см}$ ($R=25 \text{ см}$);
- диаметр полюса $d_{\Pi} = 4 \text{ см}$ ($r_{\Pi} = 2 \text{ см}$);
- паспортная прочность АМ $[\sigma] = 60000 \text{ кг/см}^2$;
- модуль упругости АМ $E_{AM} = 2,9 \times 10^6 \text{ кг/см}^2$;
- предельное удлинение АМ при разрыве $\varepsilon_{допущ} = 1,9\% = 0,019$;
- модуль упругости полиэтилена $E_{Л} = 0,002 \times 10^6 \text{ кг/см}^2$;
- толщина стенки лейнера $\delta = 0,6 \text{ см}$;
- прочность полиэтилена высокого давления при разрыве 105 кг/см^2 .

Расчитаем технологические параметры намотки композитного шар-баллона с полимерным лейнером.

Количество лент спиральных слоев

Полученные в работе [5] значения рациональной толщины слоя, преобразуем в ленты, используя выражение [7]:

$$K_{Лi} = \frac{10^5 h_{сн,i} \pi \gamma D \cos \varphi_i}{TK_{НС}}, \quad (1)$$

где 10^5 – коэффициент, согласующий размерности величин;

T – линейная плотность одной нити (жгута), (текс);

γ – массовая плотность АМ, (г/см^3);

$K_{НС}$ – количество нитей (жгутов) в ленте спирального слоя;

$h_{cn,i}$ (см), D (см), $\cos \varphi_i$ (град) - толщина АМ, диаметр экватора, угол армирования в зоне экватора i – того слоя соответственно.

Значение $K_{л,i}$ округляем до целого, кратного двум (см. таблицу).

Количество лент в одном двойном спиральном слое, укладываемых на экваторе (укладка встык) определяется зависимостью:

$$K_{лi,\min}^1 = \frac{2\pi D \cos \varphi}{a}, \quad (2)$$

где 2 – коэффициент, учитывающий тот факт, что при укладке спирального слоя укладывается лента прямого и обратного направлений,

a – ширина ленты АМ в поперечном сечении.

Полученные значения представлены в таблице.

Суммарная толщина АМ на экваторе $\sum h_i = 4,475$, мм.

Сумма лент АМ $\sum K_{л} = 7910$.

Из анализа таблицы значения количества лент АМ ($K_{лi}$), определённые из условия прочности, не совпадают с количеством лент в одном слое, необходимым для застильной укладки (укладке лент встык) всей поверхности оправки ($K_{лi,\min}^1$). Т.е. либо лент недостаточно для перекрытия всей поверхности, либо их больше чем может быть уложено в один слой. В этом случае необходимо осуществлять намотку несколькими слоями, при этом часть лент останется. Для проектирования конструкции минимальной массы необходимо сохранять расчетные значения толщины слоев. Т.к. в работе [5], было показано, что нарушение расчетного соотношения значений толщины слоев может приводить к непредсказуемому перераспределению деформаций (напряжений) в слоях и разрушению всей конструкции. Таким образом, для сохранения расчетных значений толщины слоев необходимо укладывать ленты АМ либо с зазором, если их не хватает для застильной укладки, либо в несколько слоев, если их больше.

Для укладки необходимого числа лент АМ в одном слое вычислим дополнительный поворот оправки (смещение):

$$\square U = \frac{2U_0}{K_{л}^1 \eta}, \text{ (град)}, \quad (3)$$

где $K_{л}^1$ – необходимое количество лент АМ в одном слое;

η – порядок симметрии текстурного слоя (при намотке шаробаллона он равен единице);

2 – учитывает, что за один цикл укладывается две ленты;

U_0 – константа намоточного станка (приращение по координате “X” за один оборот шпинделя), град. (в нашем случае это 360^0)

Полученные значения представлены в таблице.

После укладки одной спиральной петли АМ необходимо повернуть оправку на угол, соответствующий количеству укладываемых петель (лента прямого и обратного направления). Угол поворота должен быть меньше критического угла трения АМ на поверхности изделия, во избежание соскальзывания ленты.

Коэффициент трения, смоченного связующим углежгута $\mu = 0,015$. Тогда угол трения

$$\alpha = \arctg \mu = \arctg 0,015 = 0,857^0. \quad (4)$$

Найдем отрезок дуги, соответствующий критическому углу трения скольжения, рассмотрев развернутую дугу окружности

$$L = \pi D \operatorname{tg} \alpha = \pi \cdot 50 \cdot \operatorname{tg} 0,859^0 = 2,3(\text{см}). \quad (5)$$

Ему соответствует угол дополнительного поворота оправки

$$\Delta U = \frac{L \cdot 360}{\pi D} = \frac{2,3 \cdot 360}{\pi \cdot 50} = 5,271^0. \quad (6)$$

Таким образом, поворот оправки не должен превышать $5,271^0$ при застильной укладке АМ. и в случае намотки «сетки» (т.е. когда лент $K_{Л} < K_{Л \min}^1$).

Анализ значений угла дополнительного поворота оправки (см. таблицу) для укладки лент АМ показал, что во всех слоях, укладываются ленты на поверхность по геодезическим траекториям, т.е. обеспечивается угол дополнительного поворота меньше критического.

Расчет контактного давления при намотке спиральных слоев

В связи с тем, что полимерный лейнер податлив, то есть натяжение ленты за счет контактного давления его деформирует, и ниже уложенные слои будут не натянуты и не вступят в работу одновременно со слоями, уложенными поверх, что приведет к потере прочности баллона. Поэтому определим, какое контактное давление создает АМ при намотке, чтобы компенсировать его внутренним давлением в баллоне. В работе [8] уже были представлены расчеты контактного давления на поверхность лейнера при намотке водородного цилиндрического баллона.

Контактное давление на поверхность лейнера, создаваемое спиральными слоями (для шаробаллона это кольцевые т.е. $\varphi_i = 90^0$)

$$q_{Ci} = \frac{2n_c N \sin^2 \varphi_i}{aR}, \quad (7)$$

где n_c – количество спиральных слоев,
 N – натяжение ленты АМ (3,5 кг),
 a – ширина ленты АМ (0,6 см),
 R – радиус баллона (25 см).

Здесь

$$n_c = K_L / K_{L1}, \quad (8)$$

где K_L – количество лент в слое,
 K_{L1} – количество лент АМ в одном слое при застильной укладке покрывая всю поверхность баллона. Определяем по выражению

$$K_L^1 = \frac{2\pi D \cos \varphi}{a}. \quad (9)$$

Полученные значения контактного давления представлены в таблице.

Таблица 1 – Значения толщины слоев АМ и технологические параметры рациональной конструкции шар-баллона с полимерным лейнером

№ зоны	1	2	3	4	5	6	7
Угол армирования φ	4,589	16,79	28,99	41,19	53,39	65,59	77,79
Толщина АМ на экваторе $h_{i,16}$, см	0,0864	0,0134	0,0132	0,0258	0,0449	0,0793	0,1745
Толщина АМ на полюсе, $h_{i,16}$, см	5,09	0,21	0,113	0,139	0,158	0,170	0,173
Количество лент, из условия прочности K_{Li}	2958	498	406	680	934	1146	1288
Количество лент для укладки встык $K_{Li, \min}^1$	782	752	686	590	468	324	166

Количество спиральных слоев n_c	3,782	0,662	0,591	1,152	1,996	3,537	7,759
Контактное давление от намотки АМ, q_i , кгс/см ²	2,64	0,46	0,42	0,81	1,39	2,47	3,63
Сумма контактных давлений от намотки АМ, $\sum q_i$, кгс/см ²	2,64	3,10	3,52	4,33	5,72	8,19	11,82
Количество целых слоев	3	--	--	1	2	3	6
Количество лент одного полного слоя	782	--	--	680	468	324	166
Количество лент неполного слоя	612	498	406	--	--	174	292
$\square U$ для одного полного слоя, (град.)	0,920	--	--	1,058	1,538	2,222	4,337
$\square U$ для неполного слоя («сетка»), (град.)	1,176	1,445	1,773	--	--	4,137	2,465

Давление, которое выдержит лейнер:

$$P_l = \frac{\sigma \delta}{R} = \frac{105 \cdot 0,6}{25} = 2,52 \text{ (кг/см}^2\text{)}, \quad (9)$$

где σ - предел прочности полиэтилена,

δ - толщина стенки лейнера.

Технология намотки

На основании расчетов и анализа полученных данных рекомендуется следующая технология намотки АМ и создания внутреннего давления, противодействующего контактному давлению от намотки АМ :

1. Создать в лейнере давление $1,5 \text{ кг/см}^2$ и намотать 782 ленты АМ с углом армирования $4,589^0$.
2. Создать в лейнере давление $2,64 \times 1,5 = 3,96 \text{ кг/см}^2$ и намотать два слоя по 782 ленты и один слой из 612 лент с углом армирования $4,589^0$.
3. Создать в лейнере давление $3,10 \times 1,5 = 4,65 \text{ кг/см}^2$ и намотать 498 ленты АМ с углом армирования $16,79^0$.
4. Создать в лейнере давление $3,52 \times 1,5 = 5,28 \text{ кг/см}^2$ и намотать 406 лент АМ с углом армирования $28,992^0$.
5. Создать в лейнере давление $4,33 \times 1,5 = 6,49 \text{ кг/см}^2$ и намотать 680 лент АМ с углом армирования $41,193^0$.
6. Создать в лейнере давление $5,72 \times 1,5 = 8,58 \text{ кг/см}^2$ и намотать два слоя по 468 лент АМ с углом армирования $53,395^0$.
7. Создать в лейнере давление $8,19 \times 1,5 = 12,28 \text{ кг/см}^2$ и намотать три слоя по 324 ленты АМ и один слой из 174 лент с углами армирования $65,597^0$.
8. Создать в лейнере давление $11,82 \times 1,5 = 17,73 \text{ кг/см}^2$ и намотать семь слоев по 166 лент АМ и один слой из 126 лент с углами армирования $77,798^0$.

Вывод

Предложенная технология изготовления шар-баллона из композиционных материалов с полимерным лейнером позволяет реализовать намотку расчетной толщины АМ, с учетом технологических ограничений, без потери прочности баллона и получить конструкцию минимальной массы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Тарасов В.А. Унификация шаробаллонов высокого давления РКТ комбинированной конструкции с композитной оболочкой и металлическим лейнером // Известия высших учебных заведений / В.А. Тарасов, А.В. Бараев, М.А. Комков. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – С. 31-41.
2. Создание передовой технологии и оборудования для изготовления титановых шар-баллонов / И.В. Ломакин, А.Ю. Рязанцев, С.С. Юхневич, А.А. Широкожухова // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2021. № 12(741) - С.37-43.
3. <https://safit.su/catalog/ballony-vysokogo-davleniya/>
4. Комков М. А. Технология намотки композитных конструкций ракет и средств поражения : учеб. пособие для вузов / М. А. Комков, В. А. Тарасов - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 431 с.

5. Рациональное проектирование композитного шаробаллона с полимерным лейнером. XX всероссийская научно-практическая конференция «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство». Том 1. г. Старый Оскол, 2023., С.25-32.

6. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 03-576-03). Серия 3 Выпуск 24 / Кол-в авт. – М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2008 – 188 с.

7. Ивановский В.С., Ивановская О.В. Проектирование баллонов давления из композиционных материалов: учебное пособие по практич. занятиям – Х.: Нац. аэрокосмич. Ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т,» 2016. – 60 с.

8. Расчет технологических параметров намотки композитного водородного баллона с полимерным лейнером. XIX всероссийская научно-практическая конференция «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство». Том 2. г. Старый Оскол, 2022., С.516-522.

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ

Киселева Н.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
vip.vokiss@mail.ru*

Аннотация. *Рассмотрены реагентные и безреагентные методы водоподготовки с целью снижения накипеобразования.*

Ключевые слова: вода; водоподготовка; накипь.

METHODS OF SCALE REDUCTION

Kiseleva N.A.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. *Reagent and non-reagent methods of water treatment for the purpose of reducing scale formation are considered.*

Keywords: water; water treatment; scale.

Спроси любого человека про воду, ее свойства и каждый с уверенностью ответит на этот вопрос. Ведь это привычное понятие окружает нас повсюду. Воду, как ресурс мы используем практически везде, но это ресурс не бесконечен. Вода покрывает более 70 % поверхности планеты, но только около 2,5 % всемирных водных запасов составляет пресная вода.

По данным ЮНЕСКО около 2,2 млрд человек во всем мире не имеют доступа к чистой, безопасной воде. К 2030 году мир столкнется с глобальным дефицитом воды в размере 40 %, и ситуация усугубится за счет других глобальных проблем.

В докладе ООН о состоянии водных ресурсов мира за 2023 год [1] приводятся данные о том, что промышленность и энергетика вместе используют приблизительно 19% мирового забора пресной воды (Ritchie and Roser, 2017). Региональное распределение показывает, что в странах с высоким уровнем дохода промышленный забор воды в среднем составляет 17% от общего объема водопользования, в странах с низким уровнем дохода этот показатель

составляет только 2% (Ritchie and Roser, 2017). Компании в семи основных секторах — пищевой, текстильной, энергетической, промышленной, химической, фармацевтической и горнодобывающей — влияют более чем на 70% мирового использования и загрязнения пресной воды (CDP, 2018). К 2050 году в сценарии «среднего пути» предполагается 24%-ное увеличение спроса на воду в промышленности и энергетике (Burek et al., 2016).

Энергетика как основа функционирования экономики и общества призвана обеспечить растущее население планеты (с 6,3 млрд чел. в 2005 г. до 8 млрд чел в 2030 г.) и развитие экономики со среднегодовыми темпами роста ВВП 3,5-4%. Это приведёт к росту энергопотребления в 1,3-1,5 раза к 2030 г.

Производство электроэнергии, отопления, водоснабжения и транспорт полностью зависят от энергетической сферы. В свою очередь энергетика крайне зависима от воды: она нужна на всех стадиях производства - для образования пара, передачи тепла, промывки оборудования, поддержания концентрации химических веществ, охлаждения и т.д. Именно качество используемой воды определяет энергоэкономическую эффективность всей цепочки производства, поставки и потребления энергии.

Природная вода, обладая рядом уникальных свойств, является водным раствором практически всех элементов Земли. В воде всегда присутствуют примеси. Изменение ее температуры и pH приводит к растворению одних и выпадению в осадок других соединений. Кристаллизация осадков может происходить непосредственно на поверхностях нагрева (первичная накипь, обычно твердые накипные отложения) или, осадки вначале выпадают в воде, а затем возникшие взвешенные частицы (шламы) «прикипают» к поверхности нагрева, являясь причиной вторичного накипеобразования. Основными накипеобразующими ионами являются катионы кальция Ca^{2+} , магния Mg^{2+} и анионы: сульфаты SO_4^{2-} и гидрокарбонаты HCO_3^- . Основная причина образования отложений на внутренних теплопередающих поверхностях – использование неподготовленной воды. Накипь вызывает:

- резкое повышение температуры стенок экранных труб (до 800-900 °С). Локальный перегрев приводит к снижению прочностных характеристик металла, образованию свищей, разрыву трубы и, как следствие, аварийной остановке оборудования;
- снижение теплопроводности, так же приводящее к перерасходу топлива. Слой накипи в 3-5 мм поглощает примерно 25% тепловой энергии, а при увеличении его в 4 раза, тепловые потери возрастают до 70%;
- увеличение гидравлического сопротивления оборудования, что так же ведет к перерасходу энергоносителя;
- коррозию металла.

На сегодняшний день технологии борьбы с накипеобразованием можно условно разделить на реагентные и безреагентные. К реагентным относятся коагуляция, известкование, содо-известкование, ионный обмен, дозировка антинакипинов, специальных реагентов и т.д. Любой из этих способов водообработки требует реагентов (солей, кислот, щелочей, фосфатов, поверхностно-активных веществ и т.д.) небезопасных для окружающей среды, установок по их дозировке и утилизации стоков. В условиях ухудшения состояния водных объектов и ужесточения требований к качеству сбросных вод, в настоящее время затраты на реализацию различных предложений по обработке и утилизации стоков зачастую превышают стоимость самой водоподготовки.

Подкисление, дозирование в воду серной H_2SO_4 или соляной HCl кислот, является самым универсальным способом обработки воды для предотвращения карбонатных отложений. Однако незначительное превышение дозы кислоты в теплоносителе может привести к коррозии трубопровода – противоположности накипеобразования. Очень часто после химических промывок оборудования начинаются утечки, вызванные коррозией металла.

Фосфатирование, обработка воды тринатрийфосфатом, гексаметафосфатом или триполифосфатом натрия связывает соли жесткости в малорастворимые соединения. Присутствие фосфатов в воде приводит к тому, что блокируются центры кристаллизации для выпадения твёрдой фазы на теплопередающих поверхностях, в результате вместо накипи образуется рыхлый, легко удаляемый шлам. При добавлении фосфатов меньше, чем содержание кальция, магния и железа, они действуют как ПАВ, обволакивая поверхности предотвращают непосредственное соприкосновение воды с металлом, защищая его от коррозии. Достоинством способа фосфатирования является то, что полифосфаты не обладают агрессивными свойствами по отношению к оборудованию, но они могут быть достаточно дорогими и вредными для окружающей среды [2].

Методы ионного обмена в настоящее время являются одним из основных способов умягчения воды. Общий недостаток всех ионообменных методов – необходимость регенерации ионообменных смол. Использование большого количества кислот, щелочей и солей для восстановления обменной емкости ионитов, воды для их отмывки требует больших капитальных и эксплуатационных затрат для создания сложного реагентного хозяйства, системы нейтрализации стоков и образования большого количества высокосоляных отходов.

Преимущество безреагентных методов обработки, таких как обратный осмос, ультрафильтрация, ультразвуковая, кавитационная и магнитная обработки воды заключается в отсутствии необходимости использовать химические реагенты, что исключает риск

загрязнения окружающей среды токсичными веществами, снижает нагрузку на системы водоснабжения и водоотведения. Однако их применение имеет свои ограничения и недостатки, чаще всего это связано с высокими капитальными затратами, необходимостью регулярного технического обслуживания, наличием квалифицированного персонала, ограниченной областью применения.

Мембранные методы позволяют задерживать грубодисперсные и коллоидные примеси воды (ультрафильтрация), микроорганизмы, бактерии, а также ионы растворённых солей (обратный осмос). Обратный осмос позволяет на одной ступени очистки извлечь до 96-98% солей, но эффективность процесса зависит от свойств применяемой мембраны. Ультрафильтрация применима для систем, в которых молекулярная масса растворенных компонентов намного больше, чем молекулярная масса растворителя. Однако обратный осмос и ультрафильтрация, требуют значительного расхода электроэнергии для создания необходимого давления или поддержания работы насосов.

Применение электродиализных установок ограничивается солесодержанием 0,5-10 г/л, т.к. при меньших концентрациях падает проводимость раствора и уменьшается эффективность использования электроэнергии, а при больших – наоборот возрастают затраты электроэнергии на процесс переноса ионизированных примесей через мембрану в поле постоянного электрического тока. Все мембранные установки довольно требовательны к режиму эксплуатации, необходима тщательная предварительная подготовка воды и соблюдение гидродинамических параметров для обеспечения высокой производительности мембран и увеличения срока их эксплуатации.

Обработка воды постоянным электрическим полем является еще одним методом борьбы с отложениями. В работе [3] рассмотрены безреагентные водные технологии, в основе которых лежит принцип электролиза. В результате электрохимических реакций, протекающих в объеме жидкости, высокодисперсные частицы карбонатов кальция, магния и соединений железа осаждаются на катодных поверхностях антинакипного устройства, при этом уменьшается концентрация кислорода, благодаря чему системы работают без деаэратора. Применение данных технологий позволяет отказаться от дорогостоящих химических реагентов, дает годовую экономию топлива и электроэнергии (на компрессорных станциях) до 10% и снижение расходов на очистку и ремонт оборудования в 10 раз.

При ультразвуковой обработке под воздействием ультразвукового акустического поля нарушается процесс кристаллизации, происходит агрегатирование коллоидных частиц, дробление и отслаивание накипи, что в конечном итоге приводит к образованию шлама, который может быть удален продувкой. Совместное воздействие электрического,

магнитного и ультразвукового полей было изучено в работе [4]. По результатам исследований было установлено, что наибольший противонакипный эффект (81,7%) дает совместное воздействие электрического и ультразвукового полей. Магнитная обработка, хотя и вызывает споры относительно своей научной обоснованности, часто используется для изменения структуры воды, снижения ее жесткости и предотвращения образования накипи в системах отопления и водоснабжения.

Вопросы энергосбережения и рационального использования ресурсов являются ключевыми в современном мире. Связь между накипеобразованием, энергосбережением и водоподготовкой очевидна. Качество воды, основного «рабочего инструмента» во многих технологических процессах, влияет на эффективность этих процессов. Но в свою очередь и подготовка качественной воды требует значительных затрат энергии. Поэтому выбор правильного водно-химического режима, оптимизация работы систем водоочистки и водоподготовки может существенно снизить энергопотребление предприятий и организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. The United Nations World Water Development Report 2023: partnerships and cooperation for water; facts, figures and action examples - UNESCO Цифровая библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2023/en>
2. Водоподготовка: Справочник. / Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
3. Бушуев В.В. Безреагентные технологии водоподготовки / В.В. Бушуев // Новости теплоснабжения. – 2015. – № 06 (178).
4. Неведров А.В., Солодов Г.А., Папин А.В. Комбинированный способ антинакипной водоподготовки для систем теплоснабжения / А.В. Неведров, Г.А. Солодов, А.В. Папин // Теплотехника. Вестник Кузбасского Государственного технического университета. – 2007. – С.58-59.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Кочергина И.Н., Кочергин Н.В., Чабан М.Р.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСИС»*

kochergina-irina@yandex.ru

*309516, Россия, Белгородская область, город Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, дом 42, тел.: (4725)
45-12-00*

Аннотация. *Рассматривается проблема обеспечения необходимого уровня экологической безопасности на предприятиях, осуществляющих свою деятельность в металлургическом секторе. Проводится анализ видов отходов металлургического производства в виде шлаков, шламов и пылей улавливающих установок и аспирационных сооружений с целью использования их как вторичное сырье. Металлургические шлаки, тонкодисперсные шламы и пыли, с одной стороны, являются экологически опасными отходами, с другой стороны могут служить техногенным ресурсом для возвращения в производственный цикл.*

Ключевые слова: переработка металлургических отходов; шлаки; шламы и пыли пылеулавливающих установок; возврат в производственный цикл; ESG - повестка.

POTENTIAL POSSIBILITIES OF GREENING METALLURGICAL WASTE

Kochergina I.N., Kochergin N.V., Chaban M.R.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS» Russia, Stary Oskol

Abstract. *The problem of ensuring the necessary level of environmental safety at enterprises operating in the metallurgical sector is considered. The analysis of the types of waste from metallurgical production in the form of slags, slurries and dusts of trapping plants and aspiration structures is carried out in order to use them as secondary raw materials. Metallurgical slags, fine slurries and dusts, on the one hand, are environmentally hazardous waste, on the other hand, they can serve as a man-made resource for returning to the production cycle.*

Keywords: processing of metallurgical waste; slags; sludge and dust from dust collection plants; return to the production cycle; ESG - agenda.

Металлургическая отрасль играет значительную роль в мировой экономике, обеспечивая строительные компании, транспортную сферу, энергетику и другие отрасли необходимыми ресурсами. Наряду с этим, она считается одним из основных источников техногенных образований, возникающих в процессе переработки руды в сталь, в виде металлургических шлаков, пыли газоочисток, шламов, окалина и т.д. Масштабы отходов металлургического производства, исчисляемые миллиардами тонн, представляют собой внушительную экологическую проблему для экосистем, особенно для регионов, где эта отрасль является доминирующей.

Однако, вопреки представлениям о металлургии как о «грязной» отрасли, крупные предприятия, в том числе российские, активно разрабатывают и внедряют экологически безопасные технологии, совершенствуют производственные процессы и налаживают профессиональные контакты для обмена опытом с коллегами.

Стоит отметить, что деятельность современных металлургических компаний, заключается не только в производстве металлопродукции, но и в переработке промышленных отходов, в том числе продуктов вторичного производства. На каждом крупном металлургическом предприятии предусмотрены необходимые производственные мощности для утилизации таких отходов. Также отходы металлургического производства, представляя собой вторичное сырье, могут более рационально использоваться путем процесса переработки – рециклинга с извлечением ценных компонентов для возвращения их в производственный цикл.

По мнению ведущих специалистов в области металлургии, повышенный интерес к использованию вторичного сырья обусловлен двумя причинами: уменьшением запасов полезных ископаемых, а также получением дополнительных источников сырья, использование которых экономически выгодно [2]. Установлено, что для производства 1 тонны стали необходимо использовать около 10 тонн природных ресурсов, включая воду и воздух. Величины удельных показателей отходов от производства 1 тонны проката в целом по черной металлургии России, по экспертным оценкам, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Удельные показатели образования отходов производства черной металлургии [5]

Наименование образующихся отходов	Значения удельных показателей на 1 т проката
Породы от добычи и обогащения полезных ископаемых	1500÷2500 кг
Шлаки	500÷1000 кг
Шламы	80÷120 кг
Сухая пыль	80÷120 кг
Окалина	30÷40 кг
Сточные воды	250÷300 м ³

Технологические газы	8000÷10000 м ³
Аспирационный воздух	30000÷50000 м ³
Горючие газы	2000÷2500 м ³

Поэтому одной из важнейших задач, стоящих в настоящее время перед металлургической отраслью, является снижение удельных расходов исходных материалов и энергии на единицу производимой продукции.

Из всех видов отходов, получаемых в металлургическом производстве, основной объем составляют шлаки (около 80% от общего количества твердых промышленных отходов) [4]. Металлургические шлаки представляют собой силикатные материалы, образующиеся при выплавке металла из железорудного сырья. В зависимости от того или иного технологического процесса плавки образуются шлаки с различными свойствами, которые обусловлены определенным химическим составом железорудного сырья и другими факторами. Металлургическим шлакам по своей структуре характерна многокомпонентность, выступающая в роли различных оксидов, таких как CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO и FeO [3]. К тому же, они могут включать в себя оксиды Mn, P, Cr, V, Ti и др. Необходимо подчеркнуть, что только конвертерные шлаки отличаются высоким содержанием остаточного железа, тогда как доменные и электросталеплавильные шлаки состоят преимущественно из алюмосиликатов. В большинстве случаев шлаки, образовавшиеся при производстве черных металлов, захораниваются или складываются в отвалах и шлакоаккумуляторах, занимая тем самым огромные площади. Когда как эти территории могли быть использованы для других нужд населения или просто засажены деревьями, усиливающими очистку атмосферного воздуха от вредных веществ [1]. Однако ряд крупных металлургических комбинатов уже имеют определенный опыт переработки шлаков. Вследствие переработки шлака по определенной технологии, получается достаточно ценный материал, востребованный в производстве нерудных строительных материалов, дорожном строительстве, сельском хозяйстве и др. Примеры такой продукции представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Виды шлака и шлаковой продукции [3]

Вид шлака	Виды шлаковой продукции
Доменные	<ul style="list-style-type: none"> • Гранулированный шлак – производство цемента; • Шлаковая пемза – заполнитель легких бетонов; • Известковое удобрение; • Щебень, песок – дорожное строительство, бетоны,

	шлакоминеральные активные смеси, обратные засыпки в строительстве.
Конвертерные	<ul style="list-style-type: none"> • Дробленый шлак – для выплавки чугуна; • Щебень и песок – дорожное строительство; • Известковые и фосфорные удобрения.
Электросталеплавильные	<ul style="list-style-type: none"> • Щебень и песок – дорожное строительство; • Известковое удобрение.
Ферросплавные	<ul style="list-style-type: none"> • Минеральные удобрения.

В настоящее время важной задачей является разработка методов переработки шлаков с максимальным извлечением металла и эффективным использованием силикатной части.

Таким образом, полноценное использование шлаков позволило бы организовать практически безотходное металлургическое производство, к чему должны стремиться все российские компании.

Рассмотрим еще один вид металлургических отходов, который можно использовать как вторичное сырье – шламы и пыли пылеулавливающих установок и аспирационных сооружений металлургического производства. Такие шламы и пыли представляют собой остатки сырья и продуктов его переработки, имеют мелкодисперсионную фракцию, относятся к группе железосодержащих отходов. Классификация шламов и пылей по массовой доле железа в своем составе представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Классификация металлургических шламов и пылей по массовой доле железа [3]

Наименование группы	Массовая доля железа, %
богатые	55÷67 (шлам и пыль газоочисток конвертерных цехов)
относительно богатые	40÷55 (шламы и пыли аглофабрик, газоочисток и подбункерных помещений доменных печей)
бедные	менее 40 (шлам и пыль газоочисток электросталеплавильных печей)

В зависимости от содержания исходного сырья для производства стали, а также от вида технологического процесса химический состав шламов и пылей колеблется в значительных пределах. Металлургические шламы и пыли могут содержать от 37 до 52% Fe_{общ}, от 4 до 15% углерода, а также оксиды кальция, магния, марганца, алюминия, кремния. Пригодность, продиктованная техническими требованиями к качеству железосодержащих

шламов и пылей, при их возврате в производственный цикл, оценивается значением процентной составляющей в них суммарного содержания железа, углерода, а также оксидов Ca и Mg, которая должна быть не менее 45%. Наибольшую ценность для черной металлургии представляют собой мелкодисперсные отходы, в которых содержание железа достигает 55÷67%. Пыль газоочисток электросталеплавильных цехов, кроме железа, содержит также целый ряд других ценных металлов и легирующий элементов, таких как Zn (до 30%), Pb (до 8,0%), Cd, Cr, Nb и др [6]. Следовательно, данный вид отходов можно считать вторичным техногенным сырьем, из которого можно извлечь необходимые оксиды железа.

Однако, выбирая подходящую технологию, следует учесть тот факт, что состав шихты и плавильной пыли содержит достаточно высокое содержание цинка – до 2,5 %. Возврат в производственный цикл шихты и плавильной пыли с содержанием цинка выше 0,3÷0,5 % не возможен, так как это приведет к нарушению технологического цикла и быстрому износу оборудования. В настоящее время известны методы переработки шихты и плавильной пыли с целью извлечения цинка из их состава такие как: гравитационные (мокрые), гидрометаллургические, пирометаллургические и металлургические, которые, в действительности, не нашли широкого применения в практике [7]. К тому же, удаление из шламов и пылей цинка является сложной, дорогостоящей и далеко не всегда эффективной задачей. Заслуживает внимания и тот факт, что на сегодняшний день ряд металлургических предприятий России вынуждены ограничить долю шламов и пыли, использованных в оборотных циклах обозначенного производства или совсем исключить их применение, ввиду отсутствия действительно эффективной технологии их переработки.

Возникший дисбаланс между образованием металлургических шламов и пыли и их утилизацией как железосодержащего сырья в целях производственного рециклинга ставит перед предприятиями определенные задачи, решение которых требует основательной доработки существующих технологий переработки [6]. Необходимо подчеркнуть, что также как в случае с металлургическими шлаками, шламы и пыли, в основном, складываются в шламохранилищах, для которых отводятся достаточно большие площади. Ввиду таких действий можно говорить о потере миллионов тонн железа и сотен тысяч тонн других ценных элементов, а также о росте техногенной нагрузки в районах размещения металлургических отходов [4].

Обобщая вышеизложенное можно сделать вывод, что повторное применение отходов по прямому назначению может сократить потребление первичного сырья. При этом экономическая целесообразность таких действий будет тесно связана с социальной

ответственностью и охраной окружающей среды в виде снижения загрязнения воздуха, загрязнения воды и почвы (от захоронения).

Уже сегодня ведущие производители внимательно отслеживают влияние своей продукции и деятельности на окружающую среду и общество. Такой подход подтолкнул цивилизованное общество к разработке новых принципов управления (стандартов), способствующих интеграции концепции устойчивого развития в деятельность компаний. Одним из таких стандартов, набирающего популярность в России, является ESG – повестка, выражающая собой объединение понятий «Окружающая среда», «Общество» и «Управление», регламент которого включает в себя свод правил и подходов к ведению бизнеса, способствующих его устойчивому развитию. Одной из главных задач этого тренда является сокращение негативного воздействия на окружающую среду и в целом на человечество, а также рациональное использование природных ресурсов. Кроме того, такое направление в управлении компаниями способствует формированию положительного имиджа в глазах потенциальных инвесторов и клиентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды». – от 10.01.2002 г. № 7–ФЗ (ред. от 05.10.2015). // СПС Консультант плюс : [сайт]. URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ – Текст : электронный.

2. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2022 году» // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации : [официальный сайт]. – URL: <https://www.mnr.gov.ru/docs/> (дата обращения: 05.10.2024) – Текст : электронный.

3. Вторичные ресурсы, образующиеся в металлургической промышленности / Е.П. Волынкина. – Энциклопедия технологий. Эволюция и сравнительный анализ ресурсной эффективности промышленных технологий. Гл. ред. Д. О. Скобелев, ФГАУ «НИИ «ЦЭПП» – Москва ; Санкт-Петербург : «Реноме», 2019. – 824 с.

4. Кармановская, Н.В. Экология металлургического производства : учебное пособие / Н. В. Кармановская, В. В. Галишевская ; Министерство науки и высшего образования РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Норильский государственный индустриальный институт». – 2-е изд., перераб. и доп. – Норильск : НГИИ, 2020. – 98 с. – Текст : непосредственный.

5. Производство металлов. Производство чугуна и стали / М.В. Доброхотова, И.С. Курошев, О.С. Ежова. – Энциклопедия технологий. Эволюция и сравнительный анализ

ресурсной эффективности промышленных технологий. Гл. ред. Д. О. Скобелев, ФГАУ «НИИ «ЦЭПП» – Москва ; Санкт-Петербург : «Реноме», 2019. – 824 с.

6. Технологические решения вовлечения шламов очистных сооружений горно-металлургических предприятий в рециклинг / О.Е. Горлова, Н.Н. Орехова, Т.Н. Захарова, В.С. Лебедев – журнал «Недропользование и транспортные системы» // Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2022, С. 45 – 52. // eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека : [сайт]. – Москва, 2000. – URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=50271251> (дата обращения: 03.10.2024). – Текст : электронный.

7. Шатохин, К.С. Экология металлургического производства и аппараты очистки газов: учебник / К.С. Шатохин. – Москва : Издательский Дом НИТУ МИСИС, 2022. –376 с. – Текст : непосредственный.

ОЦЕНКА РИСКОВ И ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЯХ

Кретьова А.А., Ешукова О.П.

*Старооскольский филиал ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Россия, г. Старый Оскол
309502, г. Старый Оскол, мкр. Солнечный, д. 18*

***Аннотация.** В статье рассматривается ключевая тема оценки социальной эффективности объектов капитального строительства, которая является важным аспектом городского планирования и социально-экономического развития регионов. В статье идет акцентирование на том, что успешная реализация строительных проектов должна учитывать не только экономические, но и социальные показатели, вследствие чего между прибыльностью и социальными выгодами возникает связь, требующая анализа.*

Ключевые слова: Оценка социальной эффективности; градостроительство; финансирование и поддержка; пространственное планирование.

RISK ASSESSMENT AND IMPLEMENTATION OF MODERN SAFETY SYSTEMS AT PRODUCTION FACILITIES

Kretova A.A., Eshukova O.P.

*Stary Oskol branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Belgorod State National Research University", Russia, Stary Oskol
kretova.alenA2021@yandex.ru*

***Abstract.** The article discusses the key topic of assessing the social effectiveness of capital construction facilities, which is an important aspect of urban planning and socio-economic development of regions. The article focuses on the fact that the successful implementation of construction projects should take into account not only economic, but also social indicators, as a result of which a relationship arises between profitability and social benefits that requires analysis.*

Keywords: Social efficiency assessment; urban planning; financing and support; spatial planning.

Современные технологии и процессы на производственных мощностях требуют внимания ко всем аспектам безопасности. Эффективная оценка рисков и внедрение

современных систем безопасности становятся ключевыми факторами для предотвращения аварий, минимизации потерь и защиты персонала. В данной статье мы рассмотрим основные этапы оценки рисков, современные подходы к их устранению и примеры успешного внедрения систем безопасности на производственных предприятиях.

Риски на производственных мощностях могут быть как внутренними, так и внешними. Внутренние риски связаны с характером производственных процессов, оборудованием и технологиями, тогда как внешние охватывают влияние окружающей среды и социальные факторы. Для того чтобы успешно управлять рисками, необходимо четкое понимание как их природы, так и возможных последствий.

Прежде всего, важно оценить вероятность наступления тех или иных событий. Это можно сделать через анализ исторических данных, ревизии производственных процессов и мониторинг состояния оборудования. Также следует учитывать мнения специалистов и экспертов отрасли.

Не менее значимым является оценка возможных последствий рисков. Это может включать как финансовые потери, так и ухудшение условий труда, что в конечном итоге влияет на продуктивность. Важно, чтобы оценка последствий была как можно более обоснованной и реальной, учитывая все возможные сценарии.

Оценка рисков включает несколько ключевых этапов. Первый этап – это идентификация рисков, который включает в себя систематическое изучение всех возможных угроз. Это могут быть как механические риски (например, сбой оборудования), так и технологические (доступность сырья, изменения в процессах).

Следующим этапом является анализ выявленных рисков. Этот процесс подразумевает оценку вероятности их возникновения и потенциального воздействия на производство. Анализ может быть как качественным, так и количественным. Качественный анализ включает в себя экспертизу и обсуждения с командой, тогда как количественный требует статистических данных и математических методов моделирования.

На третьем этапе необходимо принять решение о том, как реагировать на выявленные риски. Возможные варианты включают в себя устранение риска, уменьшение его воздействия, передачу риска (например, через страхование) или полное принятие риска в тех случаях, когда его последствия незначительны.

Одним из наиболее важных шагов в обеспечении безопасности на производственных мощностях является внедрение современных систем безопасности. Эти системы могут значительно снизить риски и повысить уровень защиты. Современные системы безопасности включают в себя как физические меры, так и технологические решения.

Физические меры безопасности могут включать установку системы

видеонаблюдения, контроль доступа и охрану территории. Например, использование видеокамер может быть полезно для круглосуточного мониторинга производственных помещений и обнаружения несанкционированного доступа.

Технологические решения включают в себя автоматизацию процессов, внедрение систем мониторинга состояния оборудования и технологий тревожной сигнализации. Автоматизированные системы могут предсказывать возможные сбои, исходя из показателей работы оборудования, что позволяет предотвратить их до наступления.

Одной из современных технологий, активно внедряющейся на производстве, является Интернет вещей. Это позволяет интегрировать датчики в оборудование, которые отправляют данные в режиме реального времени, выявляя проблемы и аномалии.

Одним из ключевых аспектов обеспечения безопасности на производственных мощностях является обучение и повышение квалификации персонала. Независимо от того, насколько продвинутыми являются системы безопасности, без соответствующей подготовки работников эффективность их работы снижается.

Обучение должно охватывать не только правила техники безопасности, но и понимание системы работы оборудования. Персонал должен быть ознакомлен с потенциальными рисками и методами защиты от них. Например, регулярные тренинги по действиям в условиях ЧС позволяют обеспечить быструю реакцию сотрудников, что значительно снижает возможные потери в результате аварий.

Кроме того, важно вовлекать сотрудников в процессы оценки и управления рисками. Это поможет создать культуру безопасности на предприятии, где каждый работник будет не только следовать предписаниям, но и активно участвовать в их формировании.

Оценка рисков и внедрение современных систем безопасности являются неотъемлемыми частями управления производственными процессами. В быстро меняющемся мире, где технологии развиваются стремительными темпами, важно оставаться в курсе современных методов и подходов к обеспечению безопасности. Применение научно обоснованных методов оценки рисков, поддержка их исправности через современные технологии, а также обучение персонала становятся необходимыми для предотвращения аварий и защиты сотрудников. Компании, которые успешно внедряют системы безопасности, способны не только сохранить имущество, но и повысить свою конкурентоспособность на рынке. В конечном счете, безопасность на производстве – это залог успешного и стабильного развития бизнеса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Дубровский, С. В. Современные методы оценки рисков на производственных

предприятиях/ С. В. Дубровский - Издательство «Наука», 2021-150 с.

2. Шевченко, Л. А. Современные технологии управления безопасностью на производстве/ Л. А. Шевченко - Издательство: «Гуманитарный центр», 2019 – 220 с.

3. Калинин, Р. В. Оценка корпоративных рисков: методологические аспекты/ Р. В. Калинин- Издательство: «РАО»-2022 195 с.

УДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ

Лихтина Е.Ю., Тимофеева А.С.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
ketti25.27@yandex.ru

Аннотация. Данная работа направлена на выяснение влияния удельной поверхности магнетитового концентрата на прочностные характеристики окатышей. В процессе исследования выяснено, что наиболее эффективным концентратом для получения сырых окатышей является концентрат с удельной поверхностью 1807 см²/кг.

Ключевые слова: Metallurgy; магнетитовый концентрат; лабораторные исследования; окатыши; удельная поверхность; влажность, прочность.

SPECIFIC SURFACE AREA AND STRENGTH OF RAW PELLETS

Likhtina E.Yu., Timofeeva A.S.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)
ketti25.27@yandex.ru

Abstract. This work is aimed at elucidating the effect of the specific surface area of magnetite concentrate on the strength characteristics of pellets. In the course of the study, it was found out that the most effective concentrate for producing raw pellets is a concentrate with a specific surface area of 1807 cm²/kg.

Keywords: Metallurgy; magnetite concentrate; laboratory studies; pellets; specific surface area; humidity; strength.

Многие годы проводились исследования о связи между удельной поверхностью и свойствами сырых и обожженных окатышей. Такие научные труды были описаны Бережным Н.Н., Федоровым С.А., Петровым А.В. и другими учеными [1]. Изучив литературу, выяснено, что есть возможность повысить прочность сырых окатышей за счет чего, повысится и прочность обожженных окатышей.

В лабораторных условиях были проведены исследования по определению прочностных характеристик сырых окатышей

Цель исследования: выяснить влияние удельной поверхности железорудного концентрата на прочность сырых окатышей. Сырые окатыши образуются при окатывании

увлажненного до определенной степени железорудного тонкодисперсного материала. Любой измельченный материал, который обладает большой удельной поверхностью и, следовательно, поверхностной энергией, отличается термодинамической потребностью к укрупнению частиц. Железорудный увлажненный концентрат относится к дисперсным гидрофильным системам, характеризующийся высокоинтенсивным взаимодействием с водой [2].

Прочность сырых окатышей базируется на взаимодействии трех фаз жидкой, твердой и газообразной. Для окомкования наиболее важна адсорбционная (образующаяся на поверхности) и капиллярная вода, которая удерживается внутри образующихся окатышей за счет сил поверхностного натяжения. Именно это обеспечивает необходимую прочность сырым окатышам.

При этом вода стремится уменьшить свою энергию за счет уменьшения поверхностного натяжения на границе раздела фаз, т.е. эта система стремится к окомкованию. Влажность как концентрата, так и окатышей имеет большое значение для прочностных характеристик, так и для последующей технологии получения обожженных окатышей. Так для получения сырых окатышей с максимальным выходом сырых окатышей заданного размера, значение имеет влажность концентратов, которое составляет $8,5 \div 10\%$. Колебание влажности концентратов желательно не более $0,20 \div 0,25\%$. [3].

Лабораторные исследования проводили на кафедре Metallургии и Metallоведения им. С.П. Угаровой СТИ НИТУ «МИСИС». Определяющим моментом при выборе концентрата для исследования являлась удельная поверхность концентрата, были взяты два концентрата с различными удельными поверхностями $1695 \text{ см}^2/\text{г}$ и $1807 \text{ см}^2/\text{г}$ из которого в лабораторных условиях получали окатыши при одинаковых условиях. Для получения окатышей использовали окомкователь лабораторный (Рис 1).

Обычно для окомкования используют концентраты, содержащие $60 \div 65\%$ железа и более, типична крупность концентрата $90\text{—}95\%$ класса менее $0,056\text{мм}$ (в зависимости от типа руд) при удельной поверхности $1600\text{—}2300 \text{ см}^2/\text{г}$ [3].

Концентраты, содержащие меньшее количество железа, значительно реже используются для производства окатышей.



Рис. 1 – Окомкование шихты в лабораторном окомкователе

1 – станина окомкователя; 2 – колесики для свободного перемещения окомкователя; 3 – емкость, в которую засыпается шихта и где формируются окатыши; 4 – кнопка включения окомкователя; 5 – поддон для ссыпания сформированных окатышей; 6 – колесо-рычаг с помощью которого можно управлять углом наклона емкости; 7 – лампа для подсветки

Для каждого исследования использовали по 2кг концентрата в связке с бентонитом в количестве 0,7 % от массы концентрата. В зависимости от удельной поверхности концентрата брали соответствующую оптимальную его влажность [4]. После получения окатышей, определяли прочностные характеристики: на сжатие и удар.

Проведение испытаний на сжатие и удар проводили в соответствии с ГОСТ и технологической инструкции[5, 6].

Полученные годные окатыши разделили по классам крупности: 8-9мм, 10-11мм и 12-16мм. Далее в произвольном порядке были отобраны целые окатыши в количестве 30 штук из каждого класса крупности. Прочность на сбрасывание сырых окатышей характеризуется количеством падений с высоты 500 мм на резиновый коврик до появления трещины.

Для проведения испытания на сжатие на столик весов, кладется окатыш и постепенно с помощью винта на устройстве опускается прозрачная пластина до того момента, пока не появится трещина на окатыше. При этом фиксируется значение силы на весах, при которой начнет происходить разрушение окатыша. Для более точного сравнения прочности были взяты данные по годному классу 12-16мм для обоих концентратов. Результаты приведены на рисунках 2 и 3.



Рис. 2 – Прочность на сжатие

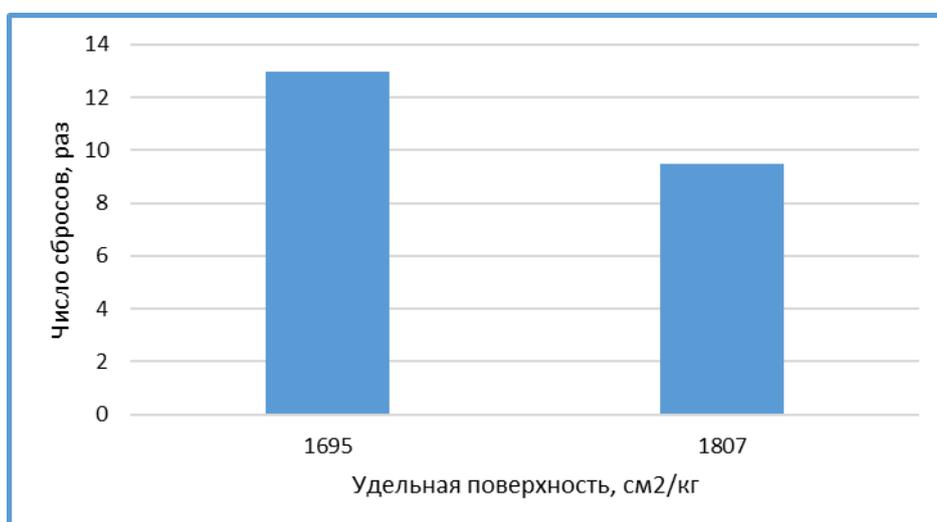


Рис. 3 – Прочность на сброс

Как видно на диаграмме прочность окатышей различается на удар на 5% и на сжатие около 27%, в зависимости от удельной поверхности концентрата. Если сравнивать, наши полученные результаты, то для производства наиболее выгодные будут окатыши с использованием концентрата 1807см²/кг, т.к. прочность на сжатие очень важна для последующей обработки, а результаты прочности на сброс, не смотря на то что, ниже на 5%, удовлетворяют технологической инструкции (не менее 6 раз).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Бережной Н.Н., Петров А.В., Федоров С.А. и др. Зависимость прочности обожженных окатышей от их пористости* Черная металлургия. Бюлл. научно-техн. информ., 1976 - № 7, 29-32.
2. Фирсовская Е.В., Паринова А.С. Влияние удельной поверхности концентрата на комкуемость и прочность сырых окатышей // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. XLVII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 10(46). – 194 с.
3. Экстракция чёрных металлов из природного и техногенного сырья: учебное пособие / А. С. Тимофеева, Т. В. Никитченко, Е. С. Тимофеев. – Старый Оскол: ТНТ, — 303с.
4. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд: В. М. Павловец; Сиб. гос. ун-т.-Новокузнецк:Изд.центр. СибГИУ,2014-345с.
5. ГОСТ 15054-80 Руды железные, концентраты, агломераты и окатыши. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги — М.: Издательство стандартов, 1980. — 13 с.
6. Об изменении ТИ 00186803-10-2011. Отбор, подготовка, испытание проб при контроле технологического процесса на фабрике окомкования. – Губкин : АО «ЛГОК», 2012. – 46 с

МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВЫТЕКАНИЯ МЕТАЛЛА ИЗ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА ПРИ УСЛОВИИ МАЛОЙ ВЯЗКОСТИ.

Лукьянов И.Е.¹, Сазонов А.В.², Сурков В.П.², Шатерников С.Г.²

¹ Филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» в г. Губкине Белгородской области, 309186 Белгородская область, г. Губкин, ул. Комсомольская, д.16

² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Россия, г. Старый Оскол, 309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42

Аннотация. Процесс вытекания металла из цилиндрического резервуара можно рассматривать, исходя из моделей гидродинамики, принимая во внимание особенности движения жидкости по вихревым траекториям. При этом для оценки времени вытекания удобно использовать математическую модель послойного истечения металла с применением приближённых методов вычисления.

Ключевые слова: идеальная жидкость; вихревое движение; статическое давление; закон сохранения расхода; закон Паскаля; сплошная среда.

METHOD FOR CALCULATING THE TIME OF METAL OUTFLOW FROM A CYLINDRICAL TANK UNDER THE CONDITION OF LOW VISCOSITY.

Lukyanov I.E.¹, Sazonov A.V.², Surkov V.P.², Shaternikov S.G.²

¹ Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, Belgorod region, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

² Starooskolsky Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS", Russia, Stary Oskol, 309516, Russia, Stary Oskol, microdistrict named after Makarenko, 42

Abstract. The process of metal outflow from a cylindrical tank can be considered based on models of hydrodynamics, taking into account the peculiarities of fluid movement along vortex trajectories. At the same time, it is convenient to use a mathematical model of layered metal outflow using approximate calculation methods to estimate the outflow time.

Keywords: ideal liquid; vortex motion; static pressure; flow conservation law; Pascal's law; continuous medium.

Рассмотрим процесс вытекания металла из цилиндрического резервуара. Если дно резервуара имеет круглое отверстие, то под действием силы тяжести расплавленный металл будет вытекать с образованием вихревой воронки. При этом можно считать, что процесс истечения будет происходить последовательно по одному слою, толщина которого должна быть равна радиусу выходного отверстия. Движение каждого слоя рассматривается как движение по окружности и оно возникает, благодаря внутреннему статическому давлению, создаваемому жидким металлом.

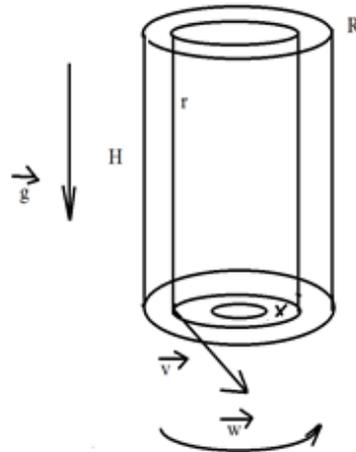


Рис. 1 – Процесс вытекания металла из цилиндрического резервуара

R - внешний радиус, r - радиус некоторого слоя металла, H - высота, X - радиус отверстия,
 v - линейная скорость, g - ускорение свободного падения

Согласно закону Паскаля, давление на некоторой глубине жидкости распространяется одинаково по всем точкам, поэтому можно выделить элементарную цилиндрическую поверхность dS толщиной dh при величине статического давления $p(h)$. Сила реакции со стороны боковой поверхности равна dN .

$$dS(r) = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dh, \quad p(h) = \rho \cdot g \cdot h, \quad dN = p(h) \cdot s(r) = \rho \cdot g \cdot h \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dh,$$

Вычислим силу реакции боковой стенки:

$$N(h, r) = \int_0^H \rho \cdot g \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot dh = \rho \cdot g \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \frac{H^2}{2} = \pi \cdot \rho \cdot g \cdot r \cdot H^2,$$

Применим второй закон Ньютона:

$$N(h, r) = F_u(h, r) = \frac{\Delta m \cdot v^2(r, h)}{r},$$

Выделим массу элементарного слоя: $\Delta m = \rho \cdot \Delta V = \rho \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H \cdot \Delta$, где Δ - толщина слоя радиуса r .

Выразим линейную скорость слоя:

$$\pi \cdot \rho \cdot g \cdot r \cdot H^2 = \frac{\rho \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H \cdot \Delta \cdot v^2(h, r)}{r}, \quad v(h, r) = \sqrt{\frac{g \cdot r \cdot H}{2 \cdot \Delta}},$$

Время вытекания металла можно определить, используя формулу расхода жидкости:

$$Q = v \cdot S = \pi \cdot X^2 \cdot v(h, r) = \pi \cdot X^2 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot r \cdot H}{2 \cdot \Delta}}, \quad V = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \Delta \cdot H,$$

$$N = \frac{R}{X}, \quad r_i = X + i \cdot \Delta, \quad \Delta = \frac{R - X}{N}, \quad r_i = X + \frac{i \cdot (R - X)}{N}, \quad i - \text{номер слоя металла},$$

$$\tau_i = \frac{V_i}{Q_i} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot \Delta \cdot H}{\pi \cdot H^2 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot r_i \cdot H}{2 \cdot \Delta}}} = \frac{2 \cdot r_i \cdot \Delta \cdot H}{X^2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta}{g \cdot r_i \cdot H}} = \frac{2 \cdot \Delta}{X^2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta \cdot r_i \cdot H}{g}},$$

$$\tau_i = \frac{2 \cdot \Delta}{X^2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta \cdot H \cdot (X + \frac{i \cdot (R - X)}{N})}{g}} = \frac{2 \cdot (R - X)}{X^2 \cdot N} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g} \cdot \left(\frac{R - X}{N}\right) \cdot \left(X + \frac{i \cdot (R - X)}{N}\right)},$$

$$t_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^N \frac{2 \cdot (R - X)}{X^2 \cdot N} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g} \cdot \left(\frac{R - X}{N}\right) \cdot \left(X + \frac{i \cdot (R - X)}{N}\right)} =$$

$$= \frac{2 \cdot (R - X)}{X^2 \cdot N} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H \cdot (R - X)}{g \cdot N}} \cdot \sum_{i=1}^N \sqrt{X + \frac{i \cdot (R - X)}{N}}$$

Расчёт можно произвести при оценочных данных: $R = 1.5 \text{ м}$, $H = 6 \text{ м}$, $X = 0.05 \text{ м}$,

$$N = \frac{1.5 \text{ м}}{0.05 \text{ м}} = 30$$

При этом время вытекания будет равно $\tau \approx 4$ мин.

Поскольку в данной модели не учитывалось влияние вязких сил, реальное время вытекания может быть 2 – 3 раза больше, чем при движении идеальной жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ.

1. Якушев А.М. Проектирование сталеплавильных и доменных цехов. - М.: Металлургия, 1984. -- 216 с.
2. Воскобойников В.Г. и др. Общая металлургия - 6-изд., перераб. и доп. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2005 - 768 с.

ПРОИЗВОДСТВО БИОГАЗА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

Лунегова А.А., Рябушкин И.А., Дунайская Л.С.

ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет», Россия, Магадан

laaru@rambler.ru

***Аннотация.** Авторы предлагают рассмотреть биогаз в качестве альтернативного энергоресурса. Предложение основано на использовании сточных вод очистных сооружений. Из дополнительных финансовых вливаний на реализацию проекта наиболее затратным является приобретение электростанции.*

Ключевые слова: биогаз; сточные воды; очистные сооружения; электростанция; горячее водоснабжение.

BIOGAS PRODUCTION FROM WASTEWATER

Lunegova A.A., Ryabushkin I.A., Dunayskaya L.S.

Northeastern State University, Magadan, Russia

laaru@rambler.ru

***Abstract.** The authors propose to consider biogas as an alternative energy resource. The proposal is based on the use of wastewater treatment plants. Of the additional financial injections for the implementation of the project, the most expensive is the purchase of a power plant.*

Keywords: biogas; wastewater; sewage treatment plants; power plant; hot water supply.

Введение. В настоящее время использование местных видов топлива (торф, отходы лесной промышленности и сельского хозяйства, твердые бытовые отходы) занимает в региональных топливно-энергетических балансах незначительное место. Основной проблемой использования возобновляемых источников энергии в РФ является их недостаточная экономическая конкурентоспособность по отношению к иным технологиям производства электрической энергии [7].

Однако, в мире широко используются альтернативные источники энергии. В 2018 г. мировые биоэнергетические мощности достигли 60 ГВт. Число электростанций, использующих пеллеты, щепу или брикеты, составило 3800 единиц. К 2027 г. планируется ввести в эксплуатацию 1900 новых биоэлектростанций общей мощностью 25 ГВт, из них 50% будет построено в Китае и Индии. Другие 50% придутся на Северную и Южную Америку, в частности на Бразилию, Канаду и США, а также Европу [4].

Актуальностью работы является поиск вариантов альтернативных источников энергии в пределах региона. Базой исследования выбрана Магаданская область.

Основная часть. Ключевым объектом энергетической инфраструктуры Магаданской области является ПАО «Магаданэнерго». Предприятие обеспечивает выработку тепла и электроэнергии для города Магадана, а также прилегающих населенных пунктов. Сегодня ПАО «Магаданэнерго» является единственным источником централизованного электро- и теплоснабжения города. Учитывая длительность эксплуатации оборудования предприятия (более 60 лет), все острее назревает вопрос поиска альтернативных источников энергии. В этих условиях целесообразно рассмотреть использование возобновляемых источников энергии.

Сырьем для получения биогаза в основном являются отходы сельского хозяйства, отходы пищевой промышленности и т.п. (рис. 1).

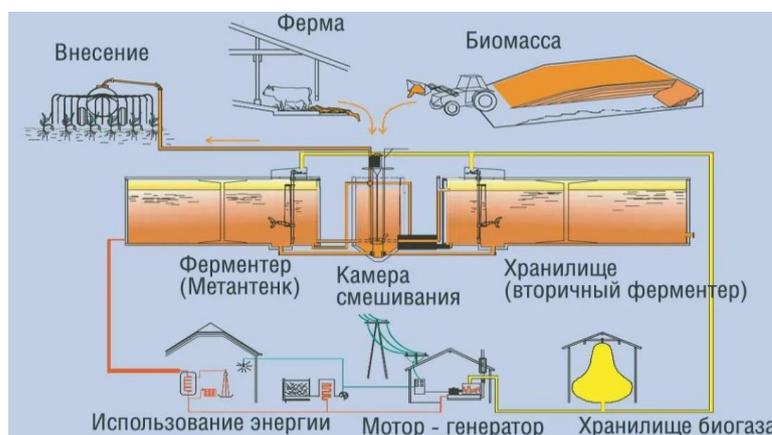


Рис. 1 – Схема технологического процесса получения биогаза на основе отходов сельского хозяйства

Рассмотрим перспективы производства биогаза в Магаданской области на базе очистных сооружений города. Путем модернизации этой системы и установки дополнительного оборудования, мы можем получить дополнительную генерацию тепла и электричества буквально из отходов жизнедеятельности города, которая в настоящее время никак не используется.

На существующую сеть очистных сооружений предлагается установить герметичные крышки. Продукты жизнедеятельности бактерий (биогаз) направлять по системе трубопроводов в специальный накопительный резервуар. При этом в резервуаре необходимо поддерживать постоянную положительную температуру. Это можно добиться путем установки подогревающего оборудования или заглублением его на глубину ниже уровня промерзания грунта. Для сохранности резервуар обрабатывается антикоррозийными

составами. Запорная арматура должна быть на сервоприводах для исключения попадания в резервуар продуктов жизнедеятельности, которые не прошли окончательную стадию распада.

Выработка биогаза с одного кубометра нечистот зависит от конкретного процесса производства. Например, при биотрансформации сточных вод мясокомбината средней производительности 1 м³ сточных вод даёт возможность получить **около 5 м³ биогаза**. Меласно-спиртовой завод из 1 м³ сточных вод можно получить **более 10 м³ горючего газа [1, 5]**.

Известно, что из одной тонны твёрдых бытовых отходов (ТБО) образуется **около 200 м³ биогаза**. При этом первые 15–20 лет при разложении одной тонны ТБО выделяется до 7,5 м³ биогаза в год (без специальных бактерий) [5].

В 2023 г. в Магаданской области через очистные сооружения за год пропущено 13691,3 тыс. м³ сточных вод [2].

Предположим, что 1 тонна сточных вод канализации дает 60 м³ биогаза, тогда 13691,3 тыс. м³ сточных вод превращаются 821,5 млн. м³ биогаза. К этому объему можно дополнительно организовать выработку биогаза из отходов сельского хозяйства, раздельного сбора мусора. В 2023 году максимальный объем бытового мусора в РФ приходился на Магаданскую область - 646,3 кг в среднем на одного жителя [3]. За год накоплено 235,9 тыс. т бытовых отходов. При условии, что из этой массы хотя бы 50 % приходится на отходы органического происхождения, то получаем около 118 тыс. т бытовых отходов, направленных на производство биогаза.

Эффективность производства биогаза на основе сточных вод исходит из того, что биогаз идет на генерацию электро- и теплоэнергии. В исследовании нами в качестве оборудования предлагается электростанция газопоршневая KG-3000 S/W предприятия Кама-Энергетика на базе Волжского индустриального двигателя 20M55 с генерацией электрической мощности 2800 кВт и тепловой мощности 3000 кВт (рис. 2).



Рис. 2 – Общий вид электростанции газопоршневой KG-3000 S/W

В таблице 1 представлены технические характеристики предлагаемого оборудования.

Таблица 1 – Технические характеристики оборудования

Наименование	Ед. изм.	Значение
Номинальная электрическая мощность	кВт	2800
Полная электрическая мощность	кВА	3500
Номинальный ток	А	5052
Частота тока	Гц	50
Номинальное напряжение	кВ	0.4/6.3/10.6
Коэффициент мощности	-	0.8
Расход газа на ХХ	м ³ /ч	84
Расход газа 50 %	м ³ /ч	540
Расход газа 75 %	м ³ /ч	720
Расход газа 100 %	м ³ /ч	900
Расход масла при 100% нагрузке	г/кВт·ч	0,3
Полная тепловая мощность	кВт	3000
Вес	кг	25000

На Магаданской теплоэлектростанции (далее - МТЭЦ) в летний период времени для ремонта оборудования происходит полное отключение горячего водоснабжения. При работе только на горячее водоснабжение затрачивается ориентировочно 30 Гкал/ч. Эту потребность может перекрыть 10 единиц предлагаемых газопоршневых электростанций. При этом, горячее водоснабжение города может стать непрерывным.

Данное исследование особый интерес может представлять для Южного Федерального округа, с наиболее развитой системой газоснабжения. Предлагаемые газопоршневые электростанции могут стать отличным подспорьем в летний период в связи возрастающей нагрузкой на генерирующие организации и располагаться на базах газовых котельных.

Заключение. Таким образом, в исследовании выявлены возможности получения биогаза из сточных вод. В регионе на сегодняшний день данный ресурс никаким образом не используется. При высокой изношенности оборудования ПАО «Магаданэнерго», единственного поставщика электро- и теплоэнергии в регионе, данный ресурс стоит рассматривать как альтернативный источник энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Багишов Н. Ш., Матисон В. А., Чурмасова Л. А. Биотрансформация сточных вод предприятий пищевой промышленности с целью получения горючего газа и кормовых продуктов // Известия вузов. Пищевая технология. 2000. №4. URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/biotransformatsiya-stochnyh-vod-predpriyatij-pischevoy-](https://cyberleninka.ru/article/n/biotransformatsiya-stochnyh-vod-predpriyatij-pischevoy)

promyshlennosti-s-tselyu-polucheniya-goryuchego-gaza-i-kormovyh-produktov (дата обращения: 16.11.2024).

2. Доклад об экологической ситуации в Магаданской области в 2019 году. [Электронный ресурс]. - URL: https://minprirod.49gov.ru/common/upload/23/editor/file/GOSDOKLAD_2019_1. (дата обращения: 11.09.2024).

3. Каждый россиянин в 2023 году в среднем оставил после себя свыше 322 кг мусора [Электронный ресурс]. - URL: <https://tass.ru/obschestvo/22121883> (дата обращения: 11.09.2024).

4. Количество биоэнергетических электростанций в мире растет. [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.infobio.ru/news/4452.html> (дата обращения: 11.09.2024).

5. Мирошниченко И. В., Снеговой Е. В. Повышение эффективности переработки осадков сточных вод в биогаз // Биология в сельском хозяйстве. 2019. №1 (22). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-pererabotki-osadkov-stochnyh-vod-v-biogaz> (дата обращения: 16.11.2024).

6. Переработка мусора. [Электронный ресурс]. - URL: <https://ztbo.ru> (дата обращения: 11.09.2024).

7. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р. [Электронный ресурс]. - URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf> (дата обращения: 11.09.2024).

ПУТИ ВОВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВО

Лунегова А.А., Василега Н.А.

ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет», Россия, Магадан

laaru@rambler.ru

***Аннотация.** Исследование посвящено поиску путей решения задачи по снижению объемов золошлаковых отходов в золоотвалах. Предложено вовлечение золошлаковых отходов в технологическую цепочку по производству обжигового гравия.*

Ключевые слова: тепловые станции; золоотвал; золошлаковые отходы; окружающая природная среда; обжиговый гравий.

WAYS OF INVOLVING ASH AND SLAG WASTE IN PRODUCTION

Lunegova A.A., Vasilega N.A.

Northeastern State University, Magadan, Russia

***Abstract.** The study is devoted to finding ways to solve the problem of reducing the volume of ash and slag waste in ash dumps. The involvement of ash and slag waste in the technological chain for the production of fired gravel is proposed.*

Keywords: thermal power plants; ash dump; ash and slag waste; natural environment; calcined gravel.

Введение. Экология и энергетика неразрывно связаны. Сегодня отходы тепловых станций имеют значительные объемы по сравнению с другими производствами. На 90% российские угольные ТЭС (далее - тепловые электростанции) золу и шлак из котлов удаляют в виде водной пульпы в золоотвалы. Золоотвал – не природное озеро, которое ТЭЦ использует для хранения золошлаковых материалов, а изначально запроектированное и построенное в составе тепловой станции сооружение, предназначенное для складирования золы и шлака. Следовательно, отходы производства ТЭС мы не можем бесконечно размещать в данных сооружениях. При этом золошлаковые отходы (далее - ЗШО) за время хранения оказывают негативное воздействие на природную среду.

Минимизация отрицательного влияния на окружающую среду сегодня весьма актуально для общества. Ограниченность объема золоотвала с одной стороны и негативное

воздействие на природу с другой стороны ставят перед обществом двуединую задачу поиска путей решения проблемы.

Авторы исследования задались целью изыскания путей вовлечения ЗШО в технологическую цепочку для снижения объемов ЗШО в хранилищах.

Основная часть. Для снижения негативной нагрузки на окружающую природную среду в Энергетической стратегии РФ на период до 2035 года запланировано постепенное снижение отходов деятельности тепловых станций (табл. 1).

Таблица 1 – Динамика снижения объема золошлаковых отходов В РФ

№ п/п	Наименование показателя	Величина показателя, год		
		2018	2024	2035
1	Доля утилизированных и обезвреженных отходов в общем объеме образованных отходов в отраслях ТЭК, %	52,6	65,0	85,0
1.1	- в т.ч. продуктов сжигания твердого топлива (золошлаков)	8,4	15,0	50,0

Следовательно, до 2035 года работу с золошлаковыми отходами необходимо организовать таким образом, чтобы вовлечь их в различные технологические цепочки в трехкратном размере больше, чем это было в 2024 г. [9].

Следуя данному постулату, предприятиями на сегодняшний день разработано достаточно много технических предложений и патентов по вовлечению ЗШО в производство по изготовлению строительных материалов, а также в строительство дорог [3 - 6, 8].

Золы и шлаки ТЭС являются материалами, прошедшими высокотемпературную обработку и получившими специфические свойства. Данное условие предопределяет возможность их эффективного использования в производстве материалов, использующихся в сфере строительства.

Опираясь на материалы Магаданской ТЭЦ (далее - МТЭЦ), нами проанализировано наполнение хранилища ЗШО.

Таблица 2 – Наполнение хранилища ЗШО (по состоянию на 01.01.2022 г.)

Проектные мощности			Накоплено, всего			Процент наполнения
ЗШО-1	Тыс. м ³	3623,1	ЗШО-1	Тыс. м ³	2708,1	
ЗШО-2	Тыс. м ³	2000,0	ЗШО-2	Тыс. м ³	1806,6	90,3
ЗШО-1	Тыс. т	4347,7	ЗШО-1	Тыс. т	3249,8	74,7
ЗШО-2	Тыс. т	2400,0	ЗШО-2	Тыс. т	2167,9	90,3

Ежегодно в хранилище размещается 30-35 тыс. т ЗШО. В определенный момент времени наступит критическое наполнение хранилища. Исходя из этого, нами предлагается использование золошлаковых отходов в качестве исходного материала для изготовления обжигового гравия.

Способ производства зольного гравия был предложен в конце 50-х годов начале 60-х прошлого века. Он базируется на технологии, разработанной АО «Теплопроект» (до 1997 г. ВНИПИ «Теплопроект») [1]. Обжиговый зольный гравий получают в противоточных вращающихся печах по технологии, принятой в производстве керамзита (рис. 1) [2, с. 35].

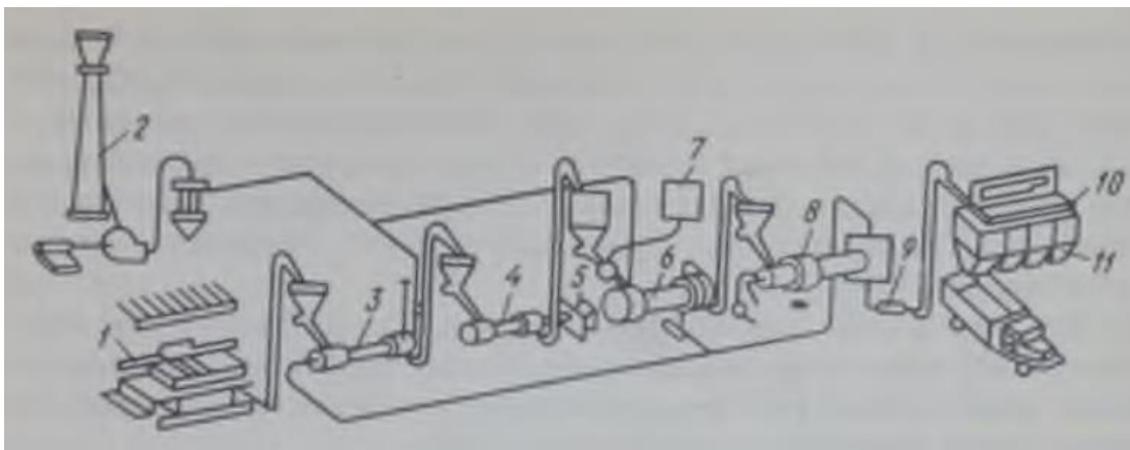


Рис. 1 – Технологическая схема производства зольного гравия:

- 1 — ящичный подаватель, 2 — дымосос, 3, 6 — сушильные барабаны,
 4 — шаровая мельница, 5 — тарельчатый гранулятор,
 7 — узел приготовления пластифицирующих добавок, 8 — обжиговая печь,
 9 — холодильник, 10 - классификатор, 11 — бункер готовой продукции

Процентное содержание составляющих компонентов для получения обжигового гравия подберем по [7. с. 38].

Таблица 3 – Структурные составляющие для производства гравия на основе золошлаковой смеси, %

№ п/п	Наименование составляющей	Процентное содержание, %
1	Золошлаковая смесь	40-50
2	Цемент	8-10
3	Песок	10-15
4	Известковые отходы	5-7
5	Пластифицирующие добавки	2
6	Вода	20-30

Для определения потребности золошлаковой смеси (далее - ЗШС) для производства гравия, необходимо определить производительность. Сосчитаем среднечасовую производительность по формуле (1):

$$q_{с.ч.} = \frac{q_{с.с.}}{t}, \quad (1)$$

где $q_{с.с.}$ - производительность среднесуточная, примем за 1 т/час;

t – продолжительность суток, час.

Тогда,

$$q_{с.ч.} = \frac{1,0}{24} = 42 \text{ кг/час.}$$

Масса ЗШС смеси, требующейся для производства гравия, формула (2):

$$m_{зшс} = \theta_{зшс} \cdot q_{с.ч.}, \quad (2)$$

где $\theta_{зшс}$ – содержание ЗШС в составе гравия, масс. %.

$$m_{зшс} = 0,6 \cdot 42 = 25,2 \text{ кг/час.}$$

Аналогично сосчитаем потребность во всех компонентах и сведем результаты расчетов в таблицу.

Таблица 4 – Потребность в составляющих компонентах для производства гравия

№ п/п	Наименование составляющей	Требуемое количество компонента	
		%	кг/час
1	Золошлаковая смесь	50,0	21,0
2	Цемент	10,0	4,2
3	Песок	12,0	5,0
4	Известковые отходы	6,0	2,5
5	Пластифицирующие добавки	2,0	0,8
6	Вода	20,0	8,4
	Итого	100,0	41,9

Потери основных компонентов при производстве гравия примем равными 20% (испарение воды при обжиге и при сушке и т.п.). Тогда при производительности основного оборудования 41,54 кг/час выход готовой продукции составит 33,5 кг/час. Годовая потребность в ЗШС составит 293 т в год.

Заключение. Итак, расчеты, выполненные в исследовании, наглядно показывают возможность снижения объемов ЗШО в золоотвалах путем вовлечения их в производство по выпуску обжигового гравия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. АО «Теплопроект»: портал [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://teploproekt.com>. (дата обращения: 01.10.2024).
2. Данилович И.Ю., Сканава Н.А. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов: Учеб. пособие для СПТУ. — М.: Высш.шк., 1988. — 72 с.: ил.
3. Мальчик А.Г., Литовкин С.В., Родионов П.В. Исследование технологии переработки золошлаковых отходов ТЭС при производстве строительных материалов // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 3-1. – С. 60-64.
4. Патент RU 2 296 624 С2, МПК В03В 9/04(2006.01) В03В 7/00(2006.01) / Способ переработки золошлаковых отходов тепловых электростанций / Машурьян В.Н., Царев В.В.: патентообладатель Федеральное государственное унитарное научно-исследовательское геологическое предприятие (ТулНИГП) «Тульское НИГП» (RU). Начало действия: 20.06.19. Публикация: 20.04.20. Подача: 20.06.19 (дата обращения 08.10.2024).
5. Патент RU 2 588 521 С1, МПК В03В 9/04(2006.01) / Способ комплексной переработки золошлаковых отходов (варианты) / Прокопьев С.А., Болотин М.Л.: патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Производственная компания «Спирит» (ООО ПК «Спирит») (RU). Начало действия: 2015.05.05. Публикация: 2016.06.27. Подача: 2015.05.05 (дата обращения 08.10.2024).
6. Пичугин Е. А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций // Проблемы региональной экологии. - 2019. - №4. [Электронный ресурс]. - URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 20.10.2024).
7. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог. Е.И. Путилин, В. С. Цветков. Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС. — Союздорнии. М., 2003.
8. Усанова К., Барабанщиков Ю., Федоренко Ю., Костыря С. Зольный заполнитель холодного связывания как крупный заполнитель бетона // Строительство уникальных зданий и сооружений. - 2018. - № 9(72). - С. 31-45. DOI: 10.18720/CUBS.72.2

9. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р. [Электронный ресурс]. - URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf> (дата обращения: 11.09.2024).

РАЗВИТИЕ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЧЁРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Малахова О.И., Петелин А.С., Кожокарь И.М.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Аннотация. Водород является одним из наиболее перспективных видов топлива, эффективным и экологически чистым энергоносителем. Низшая рабочая теплота сгорания водорода составляет около 10,8 МДж/м³, плотность при нормальных условиях 0,09 кг/ м³. При горении водорода $2\text{H}_2(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{г})$ продуктом реакции является водяной пар [1-3]. В металлургических технологиях водород может применяться как восстановитель металлов из оксидов руд, концентратов и окискованных материалов [4]. Применение водорода в энергетике и металлургической промышленности позволит снизить углеродный след и будет способствовать устойчивому развитию. В развитых металлургических державах – Германии, Китае, США разрабатываются и внедряются металлургические технологии с использованием водорода. Наша страна также выбрала путь устойчивого развития «зелёных технологий».

Ключевые слова: металлургия; технологии; водород.

DEVELOPMENT OF HYDROGEN TECHNOLOGIES IN FERROUS METALLURGY

Malakhova O.I., Petelin A.S., Kozhokhar I.M.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. Hydrogen is one of the most promising types of fuel, an efficient and environmentally friendly energy carrier. The lowest working heat of hydrogen combustion is about 10.8 MJ/m³, the density under normal conditions is 0.09 kg/m³. When hydrogen is burned, $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$, the reaction product is water vapor [1-3]. In metallurgical technologies, hydrogen can be used as a reducing agent of metals from ore oxides, concentrates and oxidized materials [4]. The use of hydrogen in the energy and metallurgical industries will reduce the carbon footprint and contribute to sustainable development. In the developed metallurgical powers – Germany, China, and the USA, metallurgical technologies using hydrogen are being developed and implemented. Our country has also chosen the path of sustainable development of "green technologies".

Keywords: metallurgy; technologies; hydrogen.

Я полагаю, что придёт со временем опять пора искать способ получения железа и стали из руд, минуя чугуны.

Д.И. Менделеев

Как кокс в своё время пришёл на смену древесному углю и стал основой доменной металлургии, так теперь природный, а в перспективе водород, по мере истощения запасов коксующегося угля и повышения его цены займут доминирующее положение в новом металлургическом производстве.

Академик Б.Е.

Патон

Водородная энергетика относится к одному из стратегических направлений развития российской атомной отрасли. Сегодня Госкорпорация «Росатом» сосредоточена на разработке и реализации пилотных проектов в России и за её пределами; развитию собственных технологий производства, хранения и транспортирования водорода; формировании долгосрочных стратегических и технологических партнёрств в этой области. В октябре 2020 года Правительством РФ был утверждён План мероприятий по теме «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года». Российская атомная отрасль обладает существенным технологическим и научно – исследовательским потенциалом по развитию основных методов производства водорода – как паровой конверсии метана, так и электролизного производства.

Переход на «зелёную металлургию» - это цель многих передовых стран, активно развивающие металлургическую промышленность. Стоит заметить, что в некоторых передовых, промышленных странах, таких как Китай, Германия, Австралия, США уже разрабатывают «зелёные технологии» в металлургии и, более того, уже есть заводы, которые работают практически на одном водороде и выпускают металлизированную, прямовосстановленную, преимущественно чистым водородом, продукцию [1-3].

В нашей стране ведутся экспериментальные и теоретические исследования применения водорода в существующих технологиях чёрной металлургии и разработки для других отраслей экономики. Так, термодинамическое моделирование [4] показало возможность применения водорода для восстановления Fe, Mn, Si и V из ильменитовых концентратов. Однако, на практике восстановление Mn и Si не происходит, так как для этого требуется наличие раствора на основе железа, а малое количество ванадия не позволяет обнаружить его в металле.

Высокая скорость протекания процесса восстановления железа позволяет достичь большей степени металлизации по сравнению с расчетной, ввиду более низкой скорости

образования комплексных оксидов CaFeSiO_4 и FeAl_2O_4 , которые могли бы связать часть железа [4].

Рассмотрим примеры инновационных технологий с применением водорода в металлургии [5, 6]: Кастелланца, 17 декабря 2020 г. — Salzgitter Flachstahl GmbH, крупнейшее сталелитейное дочернее предприятие группы Salzgitter, поручило Tenova, ведущей компании, специализирующейся на инновационных решениях для металлургической и горнодобывающей промышленности, построить демонстрационный завод μDRAL для производства железа прямого восстановления (DRI) с использованием до 100% водорода в качестве восстановителя. Завод основан на технологии ENERGIRO[®] и будет установлен на территории сталелитейного завода Salzgitter в Зальцгиттере, Германия.

Процесс ENERGIRO[®], совместно разработанный компаниями Tenova и Danieli, представляет собой основу конструкции установки и представляет собой наиболее осуществимую из имеющихся высокоинтенсивных систем H_2DR , уже рассчитанных на чрезвычайно низкие выбросы CO_2 при переработке железорудных окатышей. Это позволяет компании Salzgitter достичь долгосрочных целей по сокращению выбросов CO_2 , определенных с помощью подхода SALCOS[®].

Решение ENERGIRO[®] также недавно было выбрано HBIS Group для первого в истории газового завода прямого восстановления в Китае и ОМК в России для производства стали высочайшего качества. Мировая сталелитейная промышленность ищет интеллектуальные инновационные технологии для уменьшения своего углеродного следа, и ENERGIRO[®] является наиболее надежной и проверенной технологией, которая проложит этот устойчивый и экологически чистый путь к использованию водорода в качестве замены угля в интегрированном процессе производства стали.

μDRAL будет иметь номинальную производственную мощность 100 кг/ч и будет работать на водороде и природном газе, демонстрируя гибкость технологии с точки зрения колебаний наличия восстановителей, включая 100% водород. ПВЖ производства μDRAL будет использоваться как в доменном процессе для экономии инжестируемого угля, так и в электродуговой печи завода в Пайне.

«Новый завод прямого восстановления — это следующий шаг к реализации подхода SALCOS[®], и мы гордимся тем, что являемся партнером процесса перехода Salzgitter к экологичному производству стали». Маркус Дорндорф — директор по развитию бизнеса чёрной металлургии в Tenova LOI Thermprocess.

LIBERTY Steel Group, входящая в состав GFG Alliance британского миллиардера Санджива Гупты, подписала Меморандум о взаимопонимании с люксембургской

машиностроительной компанией Paul Wurth и технологической группой SHS - Stahl-Holding-Saar (SHS) с целью строительства и эксплуатации водородного металлургического завода промышленного масштаба в Дункерке во Франции. В случае реализации проекта завод в Дункерке станет одним из первых предприятий такого типа во Франции.

Большой интерес среди исследователей [7] вызывает технология водородно-плазменного восстановления (HPR). При этом процесс восстановления протекает в высокотемпературной камере смесью ионизированного водорода, нейтральных атомов и свободных электронов. Водородная плазма взаимодействует с кислородом оксидов железной руды с получением водяного пара и образованием расплава железа. Варианты технологии представлены австрийскими и российскими учёными (процесс Orien). Результаты анализа полученного продукта показали, что на выходе такого процесса практически получается особонизкоуглеродистая сталь. Получение такого продукта приведёт к значительному изменению структуры применяемого оборудования и упрощению привычной схемы производства стали [7].

Водородная энергетика, преимущественное применение водорода в традиционной и бескоксовой металлургии – важнейшая стратегическая, задача любой промышленно – развитой страны. Современный мир требует новых, передовых технологий, улучшения качества выпускаемой металлургической продукции и сохранения благоприятной экологической обстановки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. <https://www.urm-company.ru/about-us/blog/155-ekologiya-metallurgii/>
2. <https://musorniy.ru/ot-kakih-ekologicheskikh-problem-stradaet-chnaya-metallurgiya/>
3. Теплоэнергетика - 2020, №4, с. 1-14. Сможет ли водород стать топливом будущего? 2020 г. В. А. Кулагин, Д. А. Грушевенко, Институт энергетических исследований РАН, Нагорная ул., д. 31, корп. 2, Москва, 117186 Россия, Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”. <https://www.eriras.ru>
4. Термодинамическое моделирование восстановления металлов водородом из ильменитового концентрата и экспериментальная проверка результатов/ Бюллетень «Чёрная металлургия», том 80, 1, 2024 г., с. 29-36
5. Современные технологии водородной металлургии. Технология ENERGIRON <https://www.energiron.com/>.

6. Водородный металлургический завод во Франции – Liberty Steel Group.
<https://metallurgprom.org/news/europe/7183-liberty-steel-group-postroit-vodorodnyj-metallurgicheskij-zavod-vo-francuzskom-dunkerke.html> - режим доступа.

7. Водородная эра в отечественной металлургии. Сообщение 1/ Сталь, № 11/2021, с. 50 – 55.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ МЕЖПЛАВОЧНЫХ ПРОСТОЕВ В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ЦЕХАХ

Малахова О.И., Клейменов А.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

***Аннотация.** В мировой металлургии как в цепочке эволюции неотъемлемой частью стала модернизация, автоматизация, переоснащение в науке, технике, технологии. Всё это потребовалось для того, чтобы выплавлять сталь качественно, безопасно, быстро, без нанесения вреда экологии. Многие металлургические заводы стремятся к увеличению годовой производительности дуговых сталеплавильных печей (ДСП) за счёт уменьшения общего времени электроплавки, а также длительности межплавочных простоев. Межплавочные простои приводят к нежелательным потерям в производстве, что в итоге отрицательно сказывается на прибыли предприятия.*

Ключевые слова: ДСП; простои; производительность.

DEVELOPMENT OF A SET OF MEASURES TO REDUCE DOWNTIME IN ELECTRIC STEELMAKING WORKSHOPS

Malakhova O.I., Kleimenov A.A.

*Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National Research Technological University «MISIS»
(STI NUST MISIS)*

***Abstract.** Modernization, automation, and re-equipment in science, engineering, and technology have become an integral part of the global metallurgy as in the chain of evolution. All this was required in order to produce steel efficiently, safely, quickly, without harming the environment. Many metallurgical plants strive to increase the annual productivity of arc steelmaking furnaces by reducing the total time of electric melting, as well as the duration of inter-melting downtime. Inter-melting downtime leads to undesirable losses in production, which ultimately negatively affects the company's profits.*

Keywords: EAF, downtime, efficiency.

В настоящее время в электросталеплавильных цехах осуществляется следующая технологическая цепочка [1-4]: электроплавка стали в дуговых печах, внепечная обработка полупродукта (на установке продувки аргоном или на агрегате комплексной обработки стали, обработка в вакууматоре), непрерывная разливки стали. При работе основного и вспомогательного оборудования могут случаться простои. Нами была поставлена задача проанализировать простои в зависимости от их причины и длительности, а также влияния на технико-экономические показатели электроплавки стали. Для этого нами было проанализировано несколько сотен паспортов электроплавки стали в ДСП и данных хронометража. На рис. 1 показаны различные виды межплавочных простоев в современных электросталеплавильных цехах.



Рис. 1 – Причины межплавочных простоев при выплавке стали в дуговых печах

Нами было выявлено, что длительность межплавочных простоев зависит от организации технологического персонала, работающего на печах, и от персонала, обслуживающего печь. Время, отведённое на межплавочный период, оговаривается в технологической инструкции так, что позволяет выполнить операцию по восстановлению футеровки, стен, откосов и осмотр печи. Однако, не во всех случаях удаётся выполнить эти требования. Анализ всего массива собранных данных показал, что межплавочные простои составляли от 3 до 39 минут, то есть имеется значительный разброс по их длительности. Проведённый статистический анализ первичных данных позволил нам выделить и распределить плавки по причинам и длительностям межплавочных простоев.

Для этого мы составили таблицу 1, где показано: время завалки в минутах; межплавочный простой в минутах; межплавочный простой в процентах; отклонение от нормы в процентах; отклонение от нормы в минутах.

Таблица 1 – Анализ первичных данных

норма длительности межплавочных операций 14 мин						
номер печи	условный номер плавки	завалка, мин	межплавочный простой, мин	межплавочный простой в %	откл от нормы в %	откл от нормы, мин
1	1	2	5	35.71	-64.29	-9
1	2	3	17	121.43	21.43	3
1	3	3	4	28.57	-71.43	-10
1	4	3	3	21.43	-78.57	-11
1	5	3	18	128.57	28.57	4
1	6	2	3	21.43	-78.57	-11
1	7	3	4	28.57	-71.43	-10
1	8	2	3	21.43	-78.57	-11
1	9	2	9	64.29	-35.71	-5
1	10	3	3	21.43	-78.57	-11
1	11	2.7	30	214.29	114.29	16
1	12	3	4	28.57	-71.43	-10
1	13	3	14	100.00	0.00	0
1	14	4	23	164.29	64.29	9
1	15	3	3	21.43	-78.57	-11
1	16	3	21	150.00	50.00	7

На следующем этапе обработки данных нами были выбраны по каждой из ДСП минимальные и максимальные величины простоев, а затем рассчитаны средние их значения. Установлено, что среднее значение времени простоев имеет как положительное значение (то есть межплавочный простой превышает нормативное время), так и отрицательное значение (межплавочный простой меньше нормативного времени простоев). А имеющаяся на рассматриваемом производстве частота причин простоев показана на рисунке 2.



Рис. 2 – Причины наиболее частых простоев

Анализ научно-технической литературы и анализ фактических межплавочных простоев и причин их возникновения позволили нам сформулировать мероприятия по их уменьшению для условий современных электросталеплавильных цехов:

– Увеличить долю плавков с обработкой на АК ОС, что позволит уменьшить расход футеровки за счет снижения температуры выпуска и уменьшить продолжительность плавки.

– Применить способ рационального запуска печей для уменьшения простоев за счёт последовательного включения печи и увеличение производительности.

– Увеличить объём завалки на 10-20% для уменьшения удельного расхода электроэнергии, увеличения производительности, уменьшения излучения электрических дуг на стены и свод печи (не универсальная рекомендация, только для рассматриваемого цеха и технологии).

Вывод. Таким образом, простои уменьшают производительность и прибыль, увеличивают удельный расход электроэнергии и себестоимость. Реализация комплекса предложенных мероприятий не требует существенных вложений, остановки производства и позволит увеличить годовое производство стали при снижении расхода энергии, что приведёт также к снижению цеховой себестоимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Особенности электроплавки железорудных металлизированных окатышей в дуговой сталеплавильной печи. Меркер Э.Э., Крахт Л.Н., Малахова О.И., Кожухов А.А., Черменев Е.А., Казарцев В.О., Степанов В.А. *Электromеталлургия*. 2017. № 3. С. 2-7.

2. Дюдкин, Д. А. Современная технология производства стали / Д.А. Дюдкин, В.В. Кисиленко. - М: Теплотехник, 2007. - 528 с.

3. Исследование факторов вспененного шлака на показатели электроплавки металлизированных окатышей в ванне дуговой печи. Федина В.В., Малахова О.И., Сазонов А.В. *Современные наукоемкие технологии*. 2005. № 2. С. 71-72.

4. Теплоэнергетические особенности электроплавки железорудных металлизированных окатышей в дуговой сталеплавильной печи. Меркер Э.Э., Малахова О.И., Крахт Л.Н., Казарцев В.О. *Сталь*. 2017. № 3. С. 22-26.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТАВ ПОЛУПРОДУКТА ПРИ ЭЛЕКТРОПЛАВКЕ СТАЛИ

Малахова О.И., Каменев В.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Аннотация. Для производства электростали в высокомоощных дуговых печах (ДСП) используется большое количество различных материалов. Расход шихтовых материалов наряду с затратами на потреблённую электроэнергию существенно влияет на себестоимость стали. Более чем на 80 % себестоимость стали определяется стоимостью используемого сырья, прежде всего - металлошихты [1]. Кроме того, от применяемых материалов и их соотношения, зависит содержание в жидкой стали вредных примесей, что, несомненно, влияет на качество готовой продукции.

Ключевые слова: ДСП; шихта; качество стали; себестоимость стали.

NFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE COMPOSITION OF SEMI-PRODUCT DURING ELECTRIC MELTING OF STEEL

Malakhova O.I., Kamenev V.A.

Staroy Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. A large number of different materials are used for the production of electric steel in high-power arc furnaces (chipboard). The consumption of charge materials, along with the cost of electricity consumed, significantly affects the cost of steel. By more than 80%, the cost of steel is determined by the cost of the raw materials used, primarily metal products [1]. In addition, the content of harmful impurities in liquid steel depends on the materials used and their ratio, which undoubtedly affects the quality of finished products.

Keywords: EAF; charge; steel quality; cost of steel.

В условиях электроплавки в ДСП применяют следующие компоненты металлошихты (рис. 1): металлолом, металлизированные окатыши и горячебрикетированные железорудные брикеты, твёрдый или жидкий чугун, а также добавочные материалы, флюсы (известь, плавииковый шпат, коксик), окислители (воздух, кислород, окисленные железорудные

окатыши, окалина и др.), топливо (чаще всего природного газа), электроэнергия, вода, инертные газы (аргон), огнеупорные материалы, электроды. Стоимость тонны компонентов шихты варьируется от 85 (железная руда, известь) до 250 долларов (металлизированные железорудные брикеты) и существенно зависит от конъюнктуры рынка.

Расход металлошихты определяется: составом используемых компонентов шихты, характером шихты, технологией плавки (с полным или частичным окислением примесей, методом переплава, малошлаковая технология или с заменой шлака). Расход металлошихты снижают при использовании в качестве окислителей железной руды, окалины или других материалов, в состав которых входит железо (оно частично восстанавливается и переходит в металл).

В последние годы расширяется использование при выплавке стали в электропечах металлизированных окатышей, получаемых методами прямого восстановления. Важная характеристика окатышей – степень металлизации, т.е. отношение количества восстановленного (металлического) железа к его общему количеству в окатыше; обычно она составляет 88–97 %.



Рис. 1 – Металлошихта для электроплавки в дуговых сталеплавильных печах

Таблица 1 – Приблизительный состав шихтовых материалов [2, 3]

Компонент	Химический состав
Легковесный лом	0,05% С, 0,12% Мn, 0,015% Р, 0,015% S, 0,06% О, 0,003% Се, 0,26% Cr, 0,02% Cu, 0,14% Мо, 0,001% Nb, 0,4% Ni, 0,001% Sn, 0,015% Ti, 0,005% V, 0,009% W+Fe остаток
Тяжеловесный лом	0,05% С, 0,12% Мn, 0,015% Р, 0,015% S, 0,06% О, 0,003% Се, 0,26% Cr, 0,02% Cu, 0,14% Мо, 0,001% Nb, 0,4% Ni, 0,001% Sn,

	0,015% Ti, 0,005% V, 0,009% W+Fe остаток
Железная руда	99,1% FeO, 0,3% Al ₂ O ₃ , 0,5% CaO, 0,1% MgO, 0,001% P
Известь	94,9% CaO, 1,2% Al ₂ O ₃ , 1,8% MgO, 2,1% SiO ₂
Металлизированные окатыши (DRI)	1,5-2,0% C, 90% Fe _{общ} , 85% Fe _{метал} , 0,005% S, 0,015% P
Горячебрикетированное железо (HDRI)	90,5% Fe _{общ} , 87% Fe _{метал} , 1,7% C, 3,9% SiO ₂ , 0,3% Al ₂ O ₃ , 0,004% S, 0,011% P
Чугун	4,5% C, 0,5% Mn, 0,4% Si, 0,08% P, 0,02% S+Fe остаток

Существенными особенностями технологии электроплавки с применением большого количества металлизированных окатышей в шихте являются: непрерывная загрузка окатышей со скоростью, пропорциональной подводимой в печь электрической мощности, причем загрузка должна начинаться после формирования в печи ванны жидкого металла; совмещение периода плавления с окислительным (обезуглероживанием); упрощение технологии плавки в связи с малым содержанием в шихте вредных примесей – серы и фосфора. При выплавке стали в ДСП возможно различное сочетание доли лома и окатышей оптимальное содержание окатышей в шихте составляет 60–70% от ее массы; при большем их содержании возрастает длительность расплавления и плавки в целом.

Таблица 2 – Средний химический состав металла

Металлошихта	Доля	C%	Mn%	Si%	O%	Ce%	Cr%
Лом А	0,14	0,05	0,12	0,17	0,06	0,003	0,26
Лом Б	0,11	0,05	0,12	0,17	0,06	0,003	0,26
Металлиз. окатыши	0,60	2	0,3	3,9			
Стальная стружка	0,05	0,45	0,78	0,31	1,73		0,15
Чугун твердый	0,03	4,5	0,5	0,4			
ГБЖ	0,05	1,7	0,3	4,1			
Средний состав полупродукта		1,4505	3,723	2,8826	0,5567	0,0004	0,0016

Таблица 3 – Средний состав металла (продолжение)

Cu%	Mo%	Nb%	Ni%	Sn%	Ti%	V%	W%	S%	P%
0,02	0,14	0,001	0,4	0,001	0,015	0,005	0,009	0,015	0,015
0,02	0,14	0,001	0,4	0,001	0,015	0,005	0,009	0,015	0,015
0,006				0,001	0,02			0,005	0,015
								0,013	0,014
								0,08	0,02

0,005				0,001	0,02			0,004	0,011
0,0104	0,0056	0,0003	0,0008	0,0008	7E-05	0,0002	9E-05	0,0003	0,0024

Таким образом, возможна оптимизация состава металлошихты в производственных условиях, что позволит повысить качество полупродукта, а также снизить себестоимость металлошихты в электросталеплавильном производстве до 2 % в зависимости от сортамента выплавляемой стали. Данный способ может использоваться в различных сталеплавильных агрегатах и учитывает большое разнообразие составляющих металлошихты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Шевчик Д.А. Минимизация себестоимости металлошихты в сталеплавильном производстве с использованием симплекс-метода. В сборнике «Четырнадцатая Всероссийская научно-практическая конференция студентов и аспирантов» (сборник научных и научно-практических докладов Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов). Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСиС», 2017 г. С. 172-174.
2. Особенности электроплавки железорудных металлизированных окатышей в дуговой сталеплавильной печи. Меркер Э.Э., Крахт Л.Н., Малахова О.И., Кожухов А.А., Черменев Е.А., Казарцев В.О., Степанов В.А. Электromеталлургия. 2017. № 3. С. 2-7.
3. <https://steeluniversity.org/product/basic-oxygen-steelmaking-simulation/> точка доступа 12.04.2017 г.
4. Исследование факторов вспененного шлака на показатели электроплавки металлизированных окатышей в ванне дуговой печи. Федина В.В., Малахова О.И., Сазонов А.В. Современные наукоемкие технологии. 2005. № 2. С. 71-72.
5. Теплоэнергетические особенности электроплавки железорудных металлизированных окатышей в дуговой сталеплавильной печи. Меркер Э.Э., Малахова О.И., Крахт Л.Н., Казарцев В.О. Сталь. 2017. № 3. С. 22-26.
6. Энергосберегающий режим электроплавки при синхронизации процессов нагрева и обезуглероживания. Бартенева О.И., Меркер Э.Э., Харламов Д.А. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2001. № 9. С. 57.

ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВЛЕНИЯ ГРАНИЦ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА СНТ

Попов П.Е., Кретьова А.А.

*Старооскольский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Россия, Старый Оскол*

***Аннотация.** В статье рассматриваются ключевые аспекты, касающиеся установления границ и вычисления площади земельных участков, принадлежащих садоводческим некоммерческим товариществам (СНТ). Акцентируется внимание на юридических, технических и практических моментах, которые необходимо учитывать при проведении этих процедур.*

Ключевые слова: Площадь; садовое некоммерческое товарищество (СНТ); земельный участок.

FEATURES OF ESTABLISHING BOUNDARIES AND DETERMINING THE AREA OF THE LAND PLOT OF THE SNT

Popov P.E., Kretova A.A.

Starooskolsky branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Belgorod State National Research University", Stary Oskol, Russia

***Abstract.** The article discusses the key aspects related to the establishment of boundaries and the calculation of the area of land plots belonging to horticultural non-profit partnerships (SNTS). Attention is focused on the legal, technical and practical aspects that must be taken into account when conducting these procedures.*

Keywords: Square; garden non-profit partnership (SNT); land plot.

Земельные участки, принадлежащие садоводческим некоммерческим товариществам (СНТ), играют важную роль в организации дачного строительства и ведении садоводства. Правильное установление границ участка и точное определение его площади являются ключевыми моментами как для собственников, так и для государства. Процедуры межевания и установления границ регулируются законодательством и требуют внимательного подхода. В данной статье мы рассмотрим особенности установления границ и определения площади

земельного участка СНТ, а также важные аспекты, связанные с межеванием.

Под установлением границ земельного участка понимается установление координат границ участка земли, на который сформирован единый на который оформлен единый кадастровый документ, а также конкретизацию размытых приграничных линий и кадастровый документ. Кроме того, конкретизированы размытые приграничные линии и зафиксированы всех изменения в межевом плане земельного участка.

Границы образованного земельного участка были ориентировочно отмечены на местности, где автономно установлено ограждение (натянута сетка-рабица), а также созданы границы участка, но юридической силой такие участка не обладают.

Границы земельного участка должны быть установлены кадастровым инженером, который по окончании межевых мероприятий сформирует план участка в виде чертежа с отражением местонахождения, а также площади и иных важных элементов.

Землеустроительные работы при межевании земельного участка включают проведение специальных геодезических мероприятий.

В их состав включают сбор необходимой документации, а также процедуру согласования границ, формирование межевого плана. [2]

Далее необходимо заняться постановкой на кадастровый учет земельного участка и получить документы для оформления права собственности. Порядок проведения вышеуказанных процедур регламентируется нормативными актами.

Итак, землеустроительные работы включают определенные этапы. Строгое соблюдение выполнения всех этапов – это точность установления границ и площади объекта землепользования.

Без проведения первого этапа указанных работ - планирования и сбора информации, дальнейшие действия геодезистов могут оказаться ошибочными, что способствует негативным последствиям. [3]

Отказаться от камерального этапа проведения работ также является невозможным. Это будет способствовать тому, что заинтересованные в осуществлении указанных работ лица, не будут иметь информацию о возможных изменениях в характеристиках объекта землепользования – земельного участка.

По окончании землеустроительных мероприятий их результаты подлежат оформлению согласно требованиям нормативно-правовых актов и стандартов. Организация, выполняющая вышеуказанные мероприятия обязана предоставить перечень определенных документов.

На основе проведенного исследования можно сделать вывод, что процедура межевание носит необязательный характер. На уровне правительства формировался

законопроект, определяющий обязательность указанной процедуры для собственников объектов землепользования. Пока же межевание – это процедура, осуществляемая по желанию собственника, что не является препятствием для регистрации сделок.

В настоящее время участки земли продаются без межевания при наличии кадастрового номера объекта землепользования постановке его на учет в Росреестре. [1]

После постановки на учет земельный участок будет иметь определенный статус, а именно находиться в собственности у физического лица. Собственник вправе распоряжаться указанным объектом землепользования по своему усмотрению.

Установление границ и определение площади земельного участка СНТ — это важные процессы, которые требуют тщательного подхода и профессионального вмешательства. Межевание является ключевым этапом в этом процессе, позволяя избежать конфликтов и защитить права собственников. Соблюдение всех норм и правил, а также тщательное документирование всех этапов установки границ позволит обеспечить законность и прозрачность в управлении земельными участками. Члены СНТ должны активно участвовать в процессе межевания, чтобы обеспечить комфортные условия для ведения садоводства и поддерживать хорошие соседские отношения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Поклад, Г.Г. Геодезия : учеб. пособие для студентов вузов по специальностям: 120301 «Землеустройство», 120302 «Земельный кадастр», 120303 «Городской кадастр» / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев; Воронежский гос. аграрный ун-т им. К.Д. Глинки. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Акад. Проект; Парадигма, 2021. – 538 с. : ил. – (Gaudeamus: Библиотека геодезиста и картографа. Гр. УМО).
2. Варламов, А.А. Земельный кадастр: В 6 т. Т.3. Государственные регистрация и учет земель [Текст]: / А.А. Варламов, С.А. Гальченко // – М.: КолосС, 2020. – 528с. – (Учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений).
3. Чешев, А.С. Основы землепользования и землеустройства/ А.С. Чешев, В.Ф. Вальков. – Ростов н/Д: Изд-во «МарТ», 2021. – С. 243-379.

ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ ОЗЕЛЕНЕНИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВА ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ ОТДЫХА НАСЕЛЕНИЯ И ЗАНЯТИЯ СПОРТОМ

Попов П.Е., Ещуква О.П.

Старооскольский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Россия, Старый Оскол

***Аннотация.** Статья затрагивает важные аспекты градостроительства и озеленения городских пространств, подчеркивая их значимость для создания комфортной и здоровой городской среды. Действительно, зеленые зоны в городах играют многофункциональную роль, а их наличие способствует улучшению жизни горожан.*

Ключевые слова: озеленение; градостроительство; зелёные насаждения; системы озеленения территории; системы благоустройства территории; рекреационные зоны; зоны занятия спортом.

FORMATION OF A UNIFIED SYSTEM OF LANDSCAPING AND LANDSCAPING OF THE TERRITORY FOR RECREATION AND SPORTS ACTIVITIES

Popov P.E., Eshukova O.P.

Starooskolsky branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Belgorod State National Research University", Stary Oskol, Russia

***Abstract.** The article touches on important aspects of urban planning and landscaping of urban spaces, emphasizing their importance for creating a comfortable and healthy urban environment. Indeed, green areas in cities play a multifunctional role, and their presence contributes to improving the lives of citizens.*

Keywords: landscaping; urban planning; green spaces; landscaping systems; landscaping systems; recreational areas; sports zones.

В современном мире все больше внимания уделяется созданию комфортных условий для жизни людей в городах. Одной из ключевых задач градостроительства является обеспечение доступности зеленых зон и благоустроенных территорий, где жители могут отдыхать и заниматься физической активностью. Формирование единой системы озеленения и благоустройства имеет важное значение для улучшения качества городской среды,

повышения уровня здоровья населения и создания благоприятного микроклимата. [2]

Озеленённые пространства играют важную роль в жизни города. Они выполняют множество функций:

1. Экологическая функция: зеленые насаждения способствуют улучшению экологической обстановки, очищая воздух от вредных веществ, снижая уровень шума и регулируя температурный режим.

2. Социальная функция: парки, скверы и аллеи являются местами общения и проведения досуга, способствуя социальной активности и укреплению общественных связей.

3. Эстетическая функция: озеленённые зоны украшают городскую среду, создавая приятную атмосферу и повышая качество визуального восприятия.

4. Рекреационная функция: обеспечивают возможность для активного отдыха и занятий спортом, что способствует поддержанию физического и психического здоровья населения.

Для того чтобы создать эффективную систему озеленения и благоустройства, необходимо учитывать несколько важных принципов: [1]

1. Комплексность подхода

Система должна включать в себя различные элементы: парки, скверы, бульвары, спортивные площадки, детские игровые комплексы и другие объекты. Важно обеспечить их гармоничное сочетание и взаимосвязь, чтобы они образовывали единую сеть удобных и функциональных пространств.

2. Доступность и удобство

Территории должны быть легко доступны для всех категорий граждан, включая маломобильные группы населения. Это достигается за счет продуманной сети пешеходных и велосипедных дорожек, а также наличия инфраструктуры для людей с ограниченными возможностями.

3. Экологичность

При проектировании и реализации проектов озеленения следует отдавать предпочтение экологически чистым материалам и технологиям. Например, использование растений, устойчивых к местным климатическим условиям, позволяет снизить затраты на уход и повысить долговечность зелёных насаждений.

4. Участие общественности

Активное участие жителей в процессе планирования и реализации проекта является важным фактором успеха. Общественные обсуждения, опросы и консультации позволяют учесть интересы и потребности различных групп населения, что повышает социальную значимость создаваемых объектов.

Зеленые насаждения играют большую роль в формировании городской среды с благоприятными в экологическом аспекте условиями жизни населения. Поэтому очень важным является развитие этой сферы благоустройства города. Но, даже несмотря на то, что роль озеленения городских территорий достаточно велика, в современных крупных городах, в том числе российских, существуют определенные проблемы в решении данного вопроса.

Как отмечают Митусова Н.А. и Голубничий А.А. первой и самой главной проблемой городского пространства является недостаточность озеленения. В современных городах, где главной особенностью является плотность застройки, зачастую не хватает места для размещения даже небольших скверов и парков, которые вносили бы большой вклад в оздоровление окружающей среды города. Во-вторых, парковые зоны в городской черте могут располагаться неравномерно. Например, основная масса скверов и парков может находиться в центре города, а на окраинах будет нехватка зеленых насаждений. Такое расположение озелененных территорий не позволяет растениям качественно и в полной мере фильтровать воздух, а значит загрязнения, находящиеся в окружающей среде, будут оказывать негативное влияние на человека и окружающую его среду.

Еще одной проблемой, которую можно отнести к вопросу озеленения города, является не всегда заботливое отношение людей к растениям. Красивые и ухоженные парки привлекают большие массы людей, поэтому нередко можно заметить поломанные ветки, оборванные цветы или растоптанный газон. Такое отношение населения к объектам озеленения способствует ухудшению, как здорового функционирования, так и просто внешнего вида растений, которые утрачивают свою привлекательность по отношению к другим природным составляющим данной озелененной территории. Но, несмотря на то, что существует немало проблем в озеленении городов, способы решения этих вопросов, так или иначе, имеются. [3]

Существует множество примеров успешного внедрения систем озеленения и благоустройства в разных странах мира. Один из таких примеров – парк Хай-Лайн в Нью-Йорке. Этот парк был создан на месте заброшенной железнодорожной эстакады и стал популярным местом для прогулок и отдыха горожан. Он сочетает в себе элементы ландшафтного дизайна, искусства и архитектуры, привлекая внимание туристов со всего мира.

Другой пример – московский парк Зарядье, который открылся в 2017 году. Парк представляет собой уникальное сочетание природных ландшафтов и современных технологий. Здесь созданы условия для комфортного отдыха и спортивных занятий, а также проводятся культурные мероприятия и выставки.

Создание единой системы озеленения и благоустройства является важной задачей для

обеспечения комфортной и здоровой городской среды. Успешная реализация таких проектов требует комплексного подхода, учета интересов различных групп населения и применения современных экологических технологий. Развитие зеленых зон и благоустроенных территорий способствует повышению качества жизни горожан, улучшает экологическую обстановку и стимулирует физическую активность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Комфортная городская среда как фактор благополучия жителей города [Текст]: монография / М. Е. Стадолин, С. П. Косарин, Б. Г. Убушаева [и др.]; под общ. ред. И. В. Милькиной. – Москва: Русайнс, 2024. – 224 с.
2. Костян, Д.Б. Семантические отношения между компонентами английских субстантивных композитных терминов, включающих греко-латинские терминологические элементы. Материалы 78-й международной научной конференции молодых ученых и студентов СПбГУВМ [Текст] / редкол.: К.В. Племяшов (отв. ред.), А.А. Сухинин (ред.), Г.С. Никитин (ред.) [и др.]; МСХ РФ, СПбГУВМ. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГУВМ, 2024. – 321 с.
3. Митусова, Н.А. Голубничий, А.А. Озеленение городских территорий. Проблемы и решения [Электронный ресурс] / Современные научные исследования и инновации, 2017, № 1 – Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2017/01/77684> (дата обращения: 09.11.2024).

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ВЫГОРАНИЯ СЕРЫ В ПРОЦЕССЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Никитченко Т.В., Реунов Д.С., Тимофеева А.С.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Россия, г. Старый Оскол
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
nikitchenko.tania@yandex.ru, reunov.98@mail.ru, uked@yandex.ru*

***Аннотация.** В статье представлены результаты исследований выгорания серы из шихты железорудных окатышей при различных температурах. Представлен анализ термограмм, выполненных на термическом анализаторе STA 449F5.*

Ключевые слова: сера; железорудные окатыши; пирит; пиротин; термограммы.

INVESTIGATION OF THE DEGREE OF SULFUR BURNOUT DURING THE HEAT TREATMENT OF IRON ORE PELLETS

Nikitchenko T.V., Reunov D.S., Timofeeva A.S.

*Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS» Russia, Stary Oskol
nikitchenko.tania@yandex.ru, reunov.98@mail.ru, uked@yandex.ru*

***Abstract.** The article presents the results of studies of sulfur burnout from the charge of iron ore pellets at various temperatures. The analysis of thermograms performed on the STA 449F5 thermal analyzer is presented.*

Keywords: sulfur; iron ore pellets; pyrite; pyrotin; thermograms.

Одним из вредных компонентов в составе железорудного сырья является сера, которая остается в концентрате после процесса обогащения.

Моноклинный пирротин $\text{Fe}_{0.875}\text{S}$ (Fe_7S_8 , фаза β_3) – ферримагнетик с температурой Кюри. $T_c = 573$ К. Это обусловлено различием в числе катионов Fe^{2+} двух подрешеток магнитных в результате чего возникает нескомпенсированный магнитный момент, приводящий к появлению ферримагнетизма. Моноклинный монокристаллический пирротин обладает сильной магнитокристаллической анизотропией [1].

Железо образует с серой три химических соединения: FeS , Fe_2S_3 и FeS_2 . Троилит (FeS) в свободном состоянии почти не встречается. Его природный аналог – минерал магнитный колчедан, или пирротин, содержит большой процент серы и примерно отвечает формуле

FeS_{1,12}. Соединение Fe₂S₃ неустойчиво и при нагревании до 200-300°C легко распадается на FeS и FeS₂. FeS₂ весьма распространен в природе в виде пирита.

Разнообразие данных о температурных интервалах диссоциации пирита связано, по-видимому, прежде всего с различием в структуре пиритов разных месторождений. Начало диссоциации происходит при следующих температурах: 250–300, 440-480, 500,575°C, а интенсивное разложение, когда фиксируется избыточное давление паров серы 1 ат, - при 665, 660, 689, 690°C [2, 4]. Е. Аллен и В. Ионг отмечают, что даже в вакууме отщепление серы от пирита начинается только при 625° С, а в нейтральной атмосфере - при 608° С. По данным Қосни, диссоциация FeS₂ с отщеплением FeS без доступа воздуха начинается при 200°C [3].

В лабораторных условиях на кафедре металлургии и металловедения им. С. П. Угаровой Старооскольского филиала НИТУ «МИСИС» были выполнены исследования степени выгорания серы в железорудных окатышах без флюса, а также при наличии флюса в количестве 1,5% и 2%. В качестве флюса использовался известняк. Термическую обработку окатышей производили в муфельной печи.

Термическая обработка окатышей производилась с увеличением температур до 1200°C, при этом начиная с 300 °С температура выдерживалась постоянной в течение 10 минут, затем вновь осуществлялся подъем температуры. Выдержка окатышей при постоянной температуре осуществлялась через каждые 100 °С, после выдержки из печи изымали одну порцию окатышей. Таким образом получили пробы окатышей, прошедшие термическую обработку при разных температурах. После остывания пробы маркировали и передавали в химическую лабораторию.

По итогам химического анализа были полученные следующие результаты, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание серы в экспериментальных пробах

Температура, °С	Содержание серы, %		
	Неофлюсованные окатыши	Офлюсованные окатыши (1,5 % известняка)	Офлюсованные окатыши (2 % известняка)
0	0,0625	0,0625	0,0625
300	0,0574	0,0576	0,0577
400	0,0590	0,0589	0,0592
500	0,0587	0,0552	0,0544
600	0,0550	0,0554	0,0555
700	0,0497	0,0548	0,0553
800	0,0488	0,0559	0,0552
900	0,0415	0,0557	0,0546
1000	0,0351	0,0567	0,0592
1100	0,0133	0,0564	0,0575
1200	0,0046	0,0386	0,0525

Из представленных данных видно, что при достижении температуры 300 °С происходит выгорание пиритной серы во всех пробах.

В неофлюсованных окатышах, при отсутствии известняка выгорание пирротиновой серы начинается при температуре выше 600°С. Наиболее интенсивное снижение серы наблюдается при температурах выше 1000°С. Остаточное содержание серы при температуре 1200°С составило 7,4 % от исходного количества.

Известняк препятствует выгоранию пирротиновой серы. При этом, в случае добавки известняка в количестве 1,5%, 40% серы выгорает при температуре выше 1100 °С, тогда как при большем количестве флюса (2 %) практически вся сера остается в окатышах. Возможно, происходит образование сульфата кальция.

Анализ проб также был выполнен на термическом анализаторе STA 449F5 в заводской лаборатории. Термограммы были сняты для окатышей, подвергшихся термической обработке при различных температурах, рисунок 1.

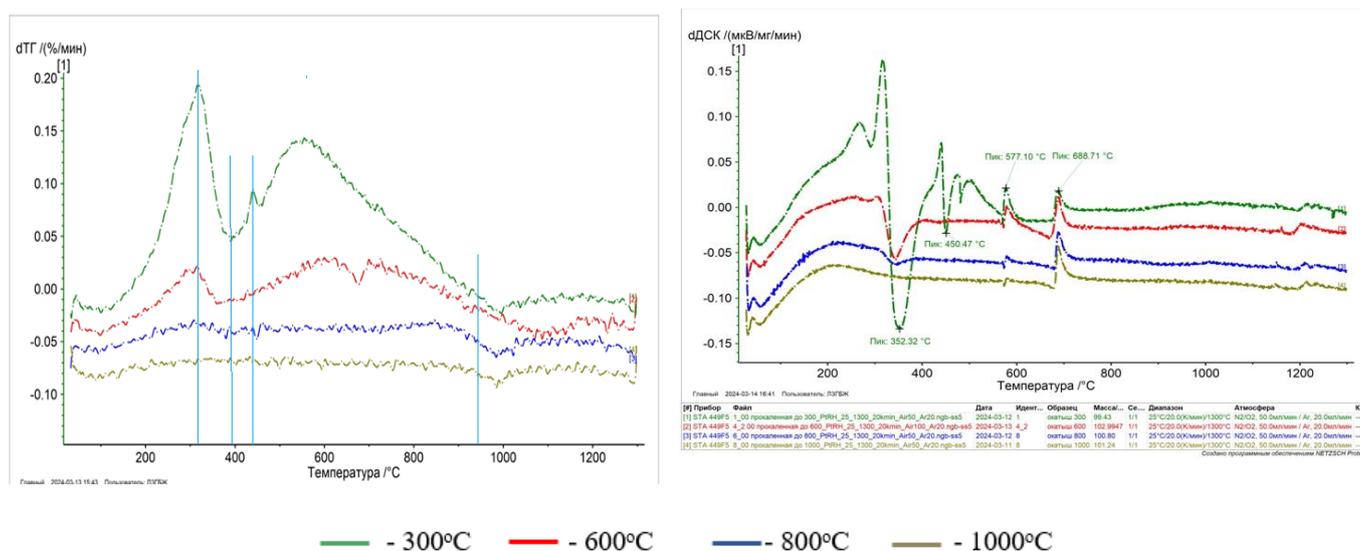


Рис. 1 – Термограммы дифференциальной термогравиметрии (ДТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) для неофлюсованных окатышей, прошедших термическую обработку при различных температурах

Анализ полученных термограмм показал, что в окатышах, нагретых до 300°С, эндотермический пик при температуре 352°С сохраняется в полной мере, следовательно, пирит, содержащийся в концентрате не подвергся разложению, а в окатышах, нагретых до 600°С пирит разложился не полностью, о чем свидетельствует эндотермический пик меньшей амплитуды, возможно время выдержки – 10 минут было недостаточным. Эти эндотермические пики сопровождаются пиками снижения массы проб.

Также в термограммах этих проб наблюдается прирост массы пробы, обусловленный окислением магнетита. В то время как, в пробах прошедших термическую обработку при 800 и 1000°C, прирост массы практически не заметен, по всей видимости основная масса магнетита в этих пробах окислилась. Во всех пробах после 1000°C на дифференциальной зависимости термогравиметрии (ДТГ) изменений массы проб не фиксируется.

Также термограммы были сняты для офлюсованных окатышей, подвергшихся термической обработке при различных температурах, рисунок 2.

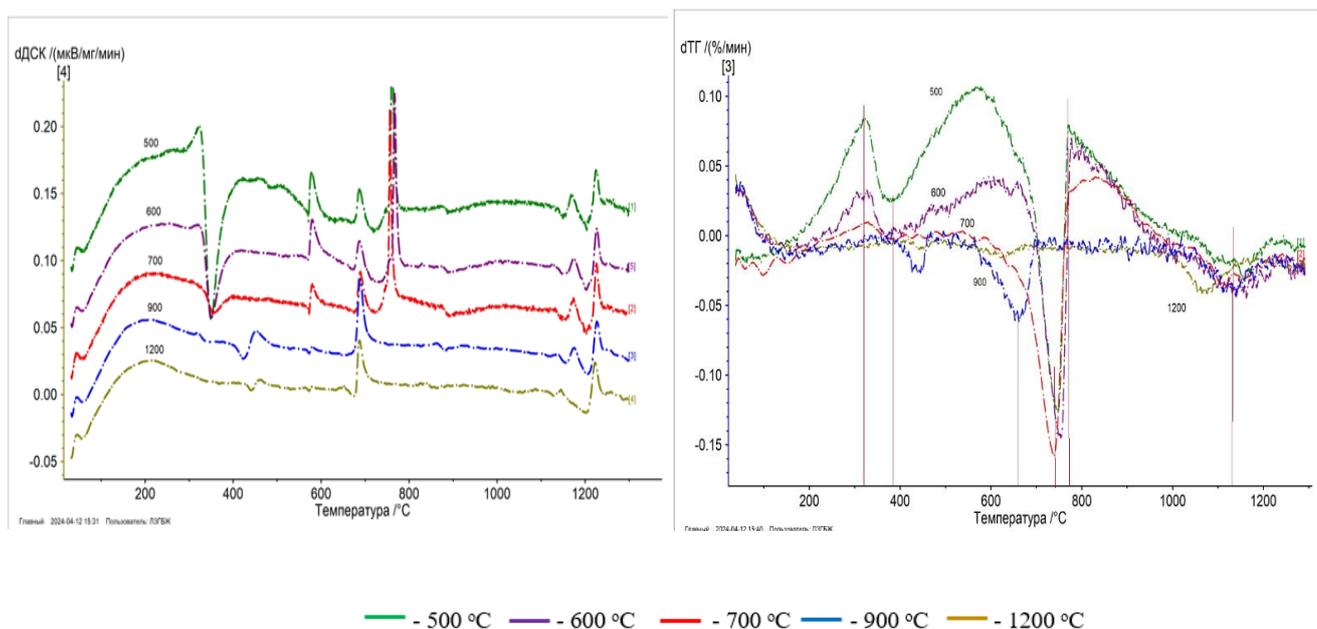


Рис. 2 – Термограммы дифференциальной термогравиметрии (ДТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) для офлюсованных окатышей, прошедших термическую обработку при различных температурах

На представленных гравиметрических термограммах аналогично неофлюсованным окатышам просматриваются провалы, свидетельствующие о потере массы пробы, при температуре 320–390°C, для проб, прошедших термическую обработку при температурах 500 и 600°C. При этом для пробы, нагретой до 600°C, глубина провала почти в 2 раза меньше. При этом данные провалы по массе сопровождаются эндотермическими пиками на графиках термограмм ДСК, это свидетельствует о протекании эндотермических реакций, сопровождающихся потерей массы. Полагаем, что это происходит разложение пиритной серы. Несмотря на то что пробы были нагреты до температур выше 400 °C какая-то часть пиритной серы в этих пробах не прореагировала, отсюда можно сделать заключение, что для выгорания серы необходимо определенное время. Если учесть, что сера в частицах концентрата находится в виде вкрапленных включений, и окатыш должен прогреться до

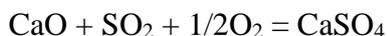
заданной температуры по всему объему, то данный вывод вполне обоснован. В пробах, прошедших термическую обработку при температурах выше 700°C таких провалов по массе и эндотермических пиков при температурах 320 – 390°C не наблюдается.

Далее мы видим в пробах, нагретых до температур ниже 800°C, происходят экзотермические реакции при температурах около 600 и 800°C, при этом реакции протекают с потерей массы. Экзотермический пик при T= 800 °C на калориметрических графиках ДСК очень узкий, т.е. происходит достаточно быстрая реакция, тогда как снижение массы пробы начинается при 600°C и завершается при 800°C.

В пробах, прошедших термическую обработку при 900°C и 1200°C выше описанных пиков не наблюдается, что дает основания полагать, что химические превращения в этих пробах были завершены. Вероятнее всего при температуре 575 – 580°C происходит разложение пирротиновой серы, а при температуре 770 – 790°C – разложение известняка с выделением CO₂. Некоторый скачек массы проб при температурах 780 – 790°C может быть обусловлен взаимодействием оксидов кальция с оксидом серы и образованием сульфатов кальция. Рассмотрим соответствующие реакции:



По данной реакции потеря массы пробы будет составлять 44 % от массы известняка в окатышах.



В соответствии с данной реакцией будет происходить увеличение массы, но прирост массы составит 4 % относительно массы известняка в пробе. Таким образом если бы сульфат кальция образовывался одновременно с разложением известняка, то прибор не смог бы зафиксировать потерю массы пробы. Следовательно, сульфат кальция при температурах около 800°C не образуется, вероятнее всего, его образование происходит позже при более высоких температурах в процессе окисления пирротина при температурах выше 1200°C, о чем могут свидетельствовать экзотермические пики на термограммах ДСК рисунок 2.

Выводы

1. При производстве неофлюсованных окатышей можно достичь степень выгорания серы более 90 %.
2. Известняк, добавляемый в окатыши в качестве флюса, тормозит процесс выгорания серы в процессе термической обработки окатышей, при этом с увеличением дозировки флюса степень выгорания серы снижается.
3. Установлено, что удаление пиритной серы происходит при температуре 320 – 350°C.

4. Окисление пирротиновой серы при отсутствии известняка начинается при температурах выше 600°C и происходит постепенно с ростом температуры.

5. Для выгорания серы требуется определенное время, обусловленное диффузионными процессами поступления кислорода к центру окатыша и его прогревом по всему объему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Абишев Д.Н., Пашинкин А.С. Магнитные сульфиды железа (проблемы комплексной переработки пиритсодержащего сырья). –Алма-Ата: Наука КазССР. -1981. - 131с.

2. Ильяш, В.В. Сульфидная минерализация и проблемы эксплуатационного картирования железистых кварцитов Лебединского месторождения КМА / В.В. Ильяш, В.И. Григорьев, С.П. Молотков, А.М. Локтев // Вестник Воронежского университета. Геология. 2005. № 1. С. 203 – 211.

3. Гзогян, Т.Н. Определение минерального и химического составов сульфидов из расщепов дообогащенного концентрата Лебединского ГОКа. / Т.Н. Гзогян, Л.В. Клекль, С.Р. Гзогян, Е.В. Гришкина // Отчет о выполнении НИР НИУ «БелГУ» 2011. 95 с.

4. Нагата Такэси. Магнетизм горных пород. М., Недра, 1965.

ВИДЫ ЗАКАЛОЧНЫХ СРЕД ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛА

Рязанова А.Ю.

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,

Россия, г. Белгород

YAnastasia.24@yandex.ru

***Аннотация.** В статье рассмотрены виды закалочных сред, применяемых для охлаждения металла при термической обработке. Показаны разновидности сред в масштабах производства, с указанием их преимуществ в сравнении друг с другом. Полученные результаты исследований различных групп ученых доказывают эффективность применения при закалке охлаждающих сред на полимерной основе, ввиду повышенного качества закаленных деталей и соединительных элементов.*

Ключевые слова: термическая обработка металла; закалка; охлаждающая жидкость; закалочная среда.

TYPES OF QUENCHING MEDIA DURING METAL HEAT TREATMENT

Ryazanova A.Yu.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia, Belgorod,

YAnastasia.24@yandex.ru

***Abstract.** The article discusses the types of quenching media used for cooling metal during heat treatment. The varieties of media on a production scale are shown, indicating their advantages in comparison with each other. The obtained research results of various groups of scientists prove the effectiveness of polymer-based cooling media in quenching, due to the improved quality of hardened parts and connecting elements.*

Keywords: heat treatment of metal; quenching; coolant; quenching medium.

При описании всей технологической линии производства отдельных деталей или соединительных элементов для создания металлоконструкций отдельно стоит отметить закалку в охлаждающих жидкостях. Исходя из цели этого этапа – достижение требуемого уровня поверхностной и объемной твердости закаливаемой детали, контроль самих жидкостей (рис.1), предназначенных для охлаждения, имеет очень важную и неотъемлемую часть всего процесса закалки. Контроль скорости охлаждения и преобразование

металлической структуры, а как следствие обеспечение необходимой твердости имеет первостепенное значение в выборе охлаждающей жидкости (охлаждающей среды (ОС)).

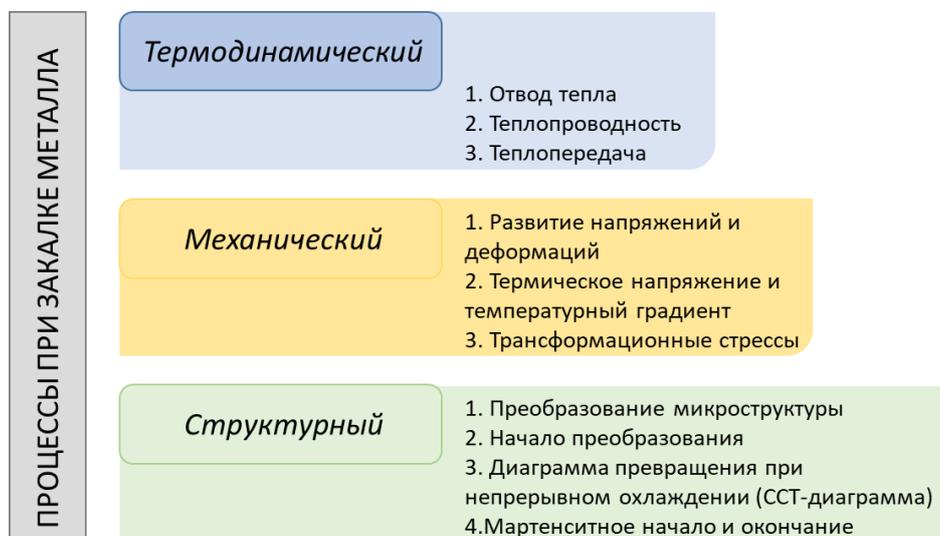


Рис. 1 – Взаимозависимость процессов при закалке металла

По составу и исходным свойствам на рынке существуют большое многообразие ОС. Основным различием между всеми составами, помимо наполнения, является способность их к охлаждению в различном температурном диапазоне (таблица 1).

Таблица 1 – Различие скорости охлаждения металла исходя из вида ОС

Охлаждающая среда		Скорость охлаждения, °/с, при температуре, °С	
		650...550	300...200
Дистиллированная вода		250	250
Вода при температуре, °С	18	600	270
	26	500	
	50	100	
	74	30	
10 %-ый раствор поваренной соли в воде при 18 °С		1100	300
10 %-ый раствор серной кислоты в воде при 18 °С		750	300
Минеральное масло		100...150	20...50
Трансформаторное масло		120	25
Эмульсия масла в воде		70	200
Медные плиты		60	30
Железные плиты		35	15
Воздух под давлением		30	10

Из всего многообразия в качестве охлаждающих сред в производстве принято использовать индустриальное масло (оптимальная ОС, не вызывающая деформации и снижающая напряжение металла) и воду (наиболее доступная ОС). Однако воспламеняемость, горючесть, отравление работников масляными парами и продуктами окисления ведет к повышению риска пожароопасности на производстве при использовании масла. Применение воды при закалке ведет к деформации металлической структуры изделия. Ввиду выделенных преимуществ и недостатков, наиболее часто используемых в производстве при закалке металлов – воды и масла, было бы целесообразно рассмотреть перспективу использования в качестве ОС водной эмульсии на основе масел или полимерных водных растворов [1, 2].

Обширно и наиболее детально полимерные эмульсии исследованы в строительной индустрии и доказано их применение в качестве гидрофобизирующих добавок красок, или как самостоятельное покрытие при обработке различного вида строительных материалов, или в качестве пылеподавляющего реагента для горно-обогатительных предприятий [3-5]. Предметом исследования и установления возможности применения в качестве охлаждающих жидкостей при закалке металла полимерных водных эмульсий мало изучено. Однако, упрочнение стали в водно-полимерных растворах встречается и пользуется популярностью в металлопромышленности [6]. Таким образом, охлаждение в концентратах синтетических сред, приготовленных на основе эмульсий водорастворимых полимеров применимо прежде всего для легированных сталей. При закалке металлов в полимерных эмульсиях на водной основе исключается недостаток выше описанных ОС, традиционно используемых в промышленности. Такие среды негорючие, нетоксичные, выделяют меньшее количество ядовитых паров и стабильны при использовании, а также отличаются повышенным качеством закаленных деталей и соединительных элементов.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки РФ № FZWN-2023-0006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Астащенко В.И. Особенности охлаждающей способности водных растворов полимеров // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2007. № 1. С. 2.
2. Baokun W., Renjie J., Zheng G., Qingyang Z., Yonghong L., Hui J., Lixin W., Zhiqian X., Baoping C., Jianmin M. Effect of water in oil emulsion on the surface quality of Inconel 718 alloy during coupling electrical pulse and ultrasonic treatment // Surface and Coatings Technology. 2022. Article number 128355.

3. Никулина М.В., Рязанова А.Ю., Строкова В.В, Баскаков П.С., Абзалилова А.В., Губарева Е.Н. Гидрофобизация водно-дисперсионного лакокрасочного материала эмульсией полиэтилгидросилоксана // Химия в интересах устойчивого развития. 2024. Т. 32. № 4. С. 451–456.

4. Ищенко А.В., Баскаков П.С., Строкова В.В., Молчанов А.О. Стабилизация и коалесценция гидрофобизирующих эмульсий на основе полисилоксановой жидкости // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2018. Т. 4 (70). № 2. С. 203–213.

5. Строкова В.В., Никулина М.В., Ишмухаметов Э.М. Есина А.Ю., Баскаков П.С., Степаненко М.А., Маркова И.Ю., Абзалилова А.В, Рыльцова И.Г. Модификация кремнийорганических эмульсий для создания гидрофобных поверхностей и снижения пылеоседания // Химия в интересах устойчивого развития. 2023. Т. 31. № 3. С. 348–354.

6. Kobasko N.I. Steel hardening in low concentration of polyacrylamide water polymer solutions // SSRG International Journal of Applied Physics. 2020. Vol. 7. № 3. P. 1–6.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЖИГА И ДОЗИРОВКИ БЕНТОНИТА И ИЗВЕСТНЯКА НА ПРОЧНОСТЬ ОКИСЛЕННЫХ ОКАТЫШЕЙ

Ряполова М.С.¹, Гладкая Е.А.¹, Ряполов В.В.², Болотов С.Г.², Шевченко А.А.²

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Россия, г. Старый Оскол

309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42

Rivikova2009@yandex.ru; gladkaya.ea@mail.ru

² Акционерное общество «Оскольский электрометаллургический комбинат имени А.А. Угарова»,

309515, Россия, г. Старый Оскол, пр-кт Алексея Угарова, д. 218, стр. 2

ryapolov@oemk.ru; bolotov@oemk.ru; ashevchenko@oemk.ru

Аннотация. В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований по вопросу влияния различных параметров обжига на прочностные свойства окисленных окатышей. Платформой для исследования послужили испытания на действующей обжиговой машине, проведенные в условиях АО «ОЭМК им. А.А. Угарова».

Ключевые слова: черная металлургия; окатыши; бентонит; известняк; режим обжига.

INFLUENCE OF CHANGING THE MAIN PARAMETERS OF CARBONIZATION AND DOSAGE OF BENTONITE AND LIMESTONE ON THE STRENGTH OF OXIDIZED PELLETS

Ryapolova M.S.¹, Gladkaya E.A.¹, Ryapolov V.V.², Bolotov S.G.², Shevchenko A.A.²

¹ Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

² Joint-Stock Company "Oskol Electrometallurgical Plant named after A.A. Ugarov", 309515, Russia, Stary Oskol, Aleksey Ugarov Ave., 218, building 2

Abstract. This article presents the results of experimental studies on the effect of various firing parameters on the strength properties of oxidized pellets. The platform for the study was tests on an operating firing machine, carried out under the conditions of JSC "OEMK named after A.A. Ugarov".

Keywords: ferrous metallurgy; pellets; bentonite; limestone; firing mode.

Железорудные окатыши являются одними из важных продуктов для металлургического предприятия. Их производство с каждым годом совершенствуется,

достигаются улучшения благодаря проведению ряда экспериментальных исследований [1]. Главным параметром, которому принято уделять особое внимание, является прочность окатышей. Для того, чтобы улучшить показатели прочности была проведена программа испытаний, которая включала проведение работ в три этапа при температуре обжига в зонах VI и VII 1250 °С, 1280 °С и 1300 °С. Каждый этап включал в себя три режима с изменяющимися факторами, которые могли повлиять на прочность на сжатие окисленных окатышей. Это удельные расходы бентонита и известняка, температура в зоне А и в газовой воздушной камере.

Этап 1. Температура обжига в зонах VI и VII 1250°С

Режим 1.1

- удельный расход бентонита 4,5 кг/т ок.ок.;
- удельный расход известняка 14 кг/т ок.ок.;
- удельный расход известняка 14 кг/т ок.ок.;
- температура в зоне А 600 – 650 °С;
- температура в ГВК 100-120 °С.

За этот период испытаний среднее значение прочности на сжатие окисленных окатышей составило 264 кг/ окатыш, минимальное значение — 250 кг/окатыш, максимальное значение — 290 кг/окатыш. Выпадов прочности менее 250 кг/окатыш не было. Средняя производительность обжиговой машины была 558 т/ч. Фактический средний удельный расход бентонита и известняка составил 5,0 кг/т ок.ок. и 15,5 кг/т ок.ок. соответственно.

В таблице 1 представлены средние показатели качества концентрата и кека при работе на режиме 1.1.

Таблица 1 – Качество концентрата и кека

Материал	Fe _{общ.}	SiO ₂	S	Уд.поверхность
	%	%	%	см ² /г
концентрат	69,92	2,78	0,036	1949
кек	69,6	3,23	0,036	1899

Режим 1.2

- удельный расход бентонита 5,5 кг/т ок.ок.;
- удельный расход известняка 16 кг/т ок.ок.;
- температура в зоне А 650 – 700 °С;

- температура в ГВК 150 – 160 °С.

За этот период испытаний среднее значение прочности на сжатие окисленных окатышей составило 264 кг/окатыш, минимальное значение — 227 кг/окатыш, максимальное значение — 291 кг/окатыш. Был один выпад по прочности менее 250 кг/окатыш — 227 кг/окатыш. Средняя производительность обжиговой машины была 550 т/ч. Фактический средний удельный расход бентонита и известняка составил 6,1 кг/т ок.ок. и 17,7 кг/т ок.ок. соответственно.

В таблице 2 представлены средние показатели качества концентрата и кека при работе на режиме 1.2.

Таблица 2 – Качество концентрата и кека

Материал	Fe _{общ.}	SiO ₂	S	Уд.поверхность
	%	%	%	см ² /г
концентрат	70,01	2,71	0,040	1952
кек	69,74	3,0	0,040	1863

Режим 1.3

- удельный расход бентонита 6,5 кг/т ок.ок.;
- удельный расход известняка 18 кг/т ок.ок.;
- температура в зоне А 700 - 750°С;
- температура в ГВК 180 -200 °С.

За этот период испытаний среднее значение прочности на сжатие окисленных окатышей составило 263 кг/окатыш, минимальное значение — 254 кг/окатыш, максимальное значение - 277 кг/окатыш. Выпадов прочности менее 250 кг/окатыш не было. Средняя производительность обжиговой машины была 542 т/ч. Фактический средний удельный расход бентонита и известняка составил 7,0 кг/т ок.ок. и 20,1 кг/т ок.ок. соответственно. Однако при работе на этом режиме наблюдалось образование, так называемой «сечки», в результате разрушения окатышей и выносом ее из обжиговой машины в начале зоны охлаждения.

В таблице 3 представлены средние показатели качества концентрата и кека при работе на режиме 1.3.

Таблица 3 – Качество концентрата и кека

Материал	Fe _{общ.}	SiO ₂	S	Уд.поверхность
----------	--------------------	------------------	---	----------------

	%	%	%	см ² /Г
концентрат	70,00	2,73	0,059	1948
кек	69,7	2,86	0,043	1860

Этап 2. Температура обжига в зонах VI и VII 1280°C

Режим 2.1

- удельный расход бентонита 4,5 кг/т ок.ок.;
- удельный расход известняка 14 кг/т ок.ок.;
- температура в зоне А 600 - 650°C;
- температура в ГВК 100 - 120°C.

За этот период испытаний среднее значение прочности на сжатие окисленных окатышей составило 258 кг/окатыш, минимальное значение - 235 кг/окатыш, максимальное значение — 276 кг/окатыш. Было два выпада по прочности менее 250 кг/окатыш на 01:00 (235 кг/окатыш) и 05:00 (241 кг/окатыш) 19.07.2024 г. Средняя производительность обжиговой машины была 561 т/ч. Фактический средний удельный расход бентонита и известняка составил 5,0 кг/т ок.ок. и 15,9 кг/т ок.ок. соответственно.

Таблица 4 – Качество концентрата и кека

Материал	Fe _{общ.}	SiO ₂	S	Уд.поверхность
	%	%	%	см ² /Г
концентрат	70,04	2,66	0,070	1952
кек	69,7	2,91	0,058	1886

Режим 2.2

- удельный расход бентонита 5,5 кг/т ок.ок.;
- удельный расход известняка 16 кг/т ок.ок.;
- температура в зоне А 650 - 700 °C;
- температура в ГВК 150 - 160°C.

За этот период испытаний среднее значение прочности на сжатие окисленных окатышей составило 262 кг/окатыш, минимальное значение — 255 кг/окатыш, максимальное значение — 269 кг/окатыш. Выпадов по прочности менее 250 кг/окатыш не было. Средняя производительность обжиговой машины составила 554 т/ч. Фактический средний удельный расход бентонита и известняка составил 5,9 кг/т ок.ок. и 17,8 кг/т ок.ок. соответственно.

В таблице 5 представлены средние показатели качества концентрата и кека при работе на режиме 2.2.

Таблица 5 – Качество концентрата и кека

Материал	Fe _{общ.}	SiO ₂	S	Уд.поверхность
	%	%	%	см ² /г
концентрат	70,12	2,60	0,075	1963
кек	69,7	2,73	0,086	1901

Режим 2.3

- удельный расход бентонита 6,5 кг/т ок.ок.;
- удельный расход известняка 18 кг/т ок.ок.;
- температура в зоне А 700 - 750°С;
- температура в ГВК 180-200°С.

За этот период испытаний среднее значение прочности на сжатие окисленных окатышей составило 265 кг/ окатыш, минимальное значение — 252 кг/окатыш, максимальное значение — 280 кг/окатыш. Выпадов по прочности менее 250 кг/окатыш не было. Средняя производительность обжиговой машины составила 561 т/ч. Фактический средний удельный расход бентонита и известняка составил 6,1 кг/т ок.ок. и 18,3 кг/т ок.ок. соответственно. При работе на этом режиме чаще наблюдалось образование «сечки» в результате разрушения окатышей и выносом ее из обжиговой машины в начале зоны охлаждения.

Таблица 6 – Качество концентрата и кека

Материал	Fe _{общ.}	SiO ₂	S	Уд.поверхность
	%	%	%	см ² /г
концентрат	70,01	2,72	0,063	1949
кек	69,8	2,8	0,059	1893

Этап 3. Температура обжига в зонах VI и VII 1300°С

Режим 3.1

- удельный расход бентонита 4,5 кг/т ок.ок.;
- удельный расход известняка 14 кг/т ок.ок.;
- температура в зоне А 600 - 650°С;

– температура в ГВК 100 - 120°С.

За этот период испытаний среднее значение прочности на сжатие окисленных окатышей составило 258 кг/ окатыш, минимальное значение — 251 кг/окатыш, максимальное значение — 273 кг/окатыш. Выпадов по прочности менее 250 кг/окатыш не было. Средняя производительность обжиговой машины была 563 т/ч. Фактический средний удельный расход бентонита и известняка составил 4,9 кг/т ок.ок. и 15,2 кг/т ок.ок. соответственно.

В таблице 7 представлены средние показатели качества концентрата и кека при работе на режиме 3.1.

Таблица 7 – Качество концентрата и кека

Материал	Fe _{общ.}	SiO ₂	S	Уд.поверхность
	%	%	%	см ² /г
концентрат	69,92	2,84	0,049	1934
кек	69,7	2,92	0,053	1897

Режим 3.2

- удельный расход бентонита 5,5 кг/т ок.ок.;
- удельный расход известняка 16 кг/т ок.ок.;
- температура в зоне А 650 - 700°С;
- температура в ГВК 150 - 160°С.

За этот период среднее значение прочности на сжатие окисленных окатышей составило 260 кг/ окатыш, минимальное значение — 250 кг/окатыш, максимальное значение — 272 кг/окатыш. Выпадов по прочности менее 250 кг/окатыш не было. Средняя производительность обжиговой машины составила 562 т/ч. Фактический средний удельный расход бентонита и известняка составил 6,1 кг/т ок.ок. и 17,6 кг/т ок.ок. соответственно.

Качество порошков бентонита и известняка с весовых дозаторов представлено в таблицах 1 и 2 Приложения. Набухаемость и индекс набухания бентонитового порошка составили с дозатора №2 11,6 ед. и 18 мл/2г., с дозатора N°3 12 ед. и 19 мл/2г, с дозатора N°-4 11,6 ед. и 20 мл/2г. Содержание класса менее 0,071 мм в бентонитовом порошке с дозатора №2, №3 и №4 составило 82,9%, 84,6% и 88,4% соответственно.

Содержание класса менее 0,071 мм в порошке известняка с дозаторов No5, No6 и №8 составило 85,5%, 90,8% и 87,0% соответственно.

В таблице 8 представлены средние показатели качества концентрата и кека при работе на режиме 3.2.

Таблица 8 – Качество концентрата и кека

Материал	Fe _{общ.}	SiO ₂	S	Уд.поверхность
	%	%	%	см ² /г
концентрат	69,91	2,84	0,042	1938
кек	69,6	3,0	0,029	1867

Режим 3.3

- удельный расход бентонита 6,5 кг/т ок.ок.;
- удельный расход известняка 18 кг/т ок.ок.;
- температура в зоне А 700 - 750°С;
- температура в ГВК 180 - 200°С.

На данном режиме проработали до 12:00 14.08.2024 г. Сокращение времени испытаний было связано с ухудшением формирования сырых окатышей из-за низкой влажности шихты окомкования. Наблюдалась неустойчивая работа технологических линий окомкования, а также низкая температура в сумматоре (газо-воздушные камеры №11, №12 и №13а). За этот период среднее значение прочности на сжатие окисленных окатышей составило 260 кг/окатыш, минимальное значение — 253 кг/окатыш, максимальное значение — 266 кг/окатыш. Выпадов по прочности менее 250 кг/окатыш не было. Средняя производительность обжиговой машины составила 556 т/ч. Фактический средний удельный расход бентонита и известняка составил 6,9 кг/т ок.ок. и 19,6 кг/т ок.ок. соответственно.

Выводы:

Для получения окисленных окатышей с прочностью не менее 250 кг/окатыш рекомендуется установить следующие параметры работы и дозировку флюсосвязующих материалов:

- температура обжига в зонах VI и VII 1250–1280°С;
- удельный расход бентонита 4,5 — 5,5 кг/т;
- удельный расход известняка 14–16 кг/т;
- температура в зоне А 600-650°С;
- температура в ГВК 100-150°С;
- производительность обжиговой машины 540 - 560 т/ч.

При изменении минералогии при отработке карьера и качества поступающего концентрата возможна корректировка рекомендуемых параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Черных С.Г., Елина А.С., Груздов В.С. [и др.] ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ БЕНТОНИТА НА КОМКУЕМОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ НЕОФЛЮСОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ // Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. XXVII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 12(26). URL: [https://sibac.info/archive/technic/12\(26\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/12(26).pdf) (дата обращения: 14.11.2024)

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ И ДИЗАЙНА ФУТЕРОВКИ КОВША СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОГО КС-160 В ЭСПЦ АО «ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА»

Ряполова М.С.¹, Гладкая Е.А.², Ряполов В.В.², Болотов С.Г.²

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Россия, г. Старый Оскол
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
Pivikova2009@yandex.ru; gladkaya.ea@mail.ru

² Акционерное общество «Оскольский электрометаллургический комбинат имени А.А. Угарова»,
309515, Россия, г. Старый Оскол, пр-кт Алексея Угарова, д. 218, стр. 2
vryaplov@oemk.ru; bolotov@oemk.ru

Аннотация. В данной статье представлен современный вариант снижения себестоимости при производстве стали на примере АО «ОЭМК им. А.А. Угарова» используя альтернативную схему футеровки ковша сталеразливочного КС-160. Описаны производственные достижения одного из крупнейших сталеплавильных комбинатов в Европе.

Ключевые слова: черная металлургия; сталеразливочный ковш; обработка стали; огнеупорный бетон; донный продувочный узел.

OPTIMIZATION OF THE DESIGN AND LINING OF A STEEL-POURING LADLE KS-160 AT THE ESPC JSC «OEMK IM. A.A. UGAROVA»

Ryapolova M.S.¹, Gladkaya E.A.¹, Ryapolov V.V.², Bolotov S.G.²

¹ Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

² Joint Stock Company Oskolsky Electrometallurgical Combine named after A.A. Ugarov, 309515, Russia, Stary Oskol, Alexey Ugarov Ave., 218, p. 2

Abstract. This article presents a modern option for reducing the cost of steel production using the example of JSC OEMK named after A.A. Ugarov using an alternative lining scheme for the KS-160 steel-pouring ladle. The production achievements of one of the largest steelmaking plants in Europe are described.

Keywords: ferrous metallurgy; steel-pouring ladle; steel processing; refractory concrete; bottom blowdown unit.

В существующих жестких условиях рынка черной металлургии одной из главных проблем при производстве стали является её себестоимость [1]. Для того чтобы снизить показатели себестоимости принято решение провести ряд технологических решений.

Цель работы – снижение удельных затрат на огнеупорные материалы для футеровки сталеразливочного ковша.

В период с июля 2021 года по октябрь 2024 года в ЭСПЦ проведены мероприятия, включающие в себя:

- промышленное внедрение технологии заливки рабочего слоя дна стальной ковша огнеупорным бетоном, ранее для футеровки дна применялись штучные изделия (кирпичи);
- проведение горячего ремонта рабочего слоя дна, сталевыпускных и продувочных блоков сталеразливочных ковшей;
- эксплуатация продувочных узлов с заменой отработанной фурмы продувочного блока в течении горячей кампании стальной ковша.

По состоянию на начало октября 2024 года на данную технологию переведено 36 сталеразливочных ковшей из 37.

Работы по переводу сталеразливочных ковшей на новую технологию выполнялись по рекомендациям специалистов ООО «ЕвроТехМет».

В ходе проведения промышленного внедрения был опробован ряд бетонов в результате работ было подобрано три графика сушки бетонов (представлены на рисунках 1-3), которые обеспечивают стабильную работу ЭСПЦ.



Рис. 1 – График сушки футеровки сталеразливочного ковша после капитального ремонта с расходом бетона более 5 тонн

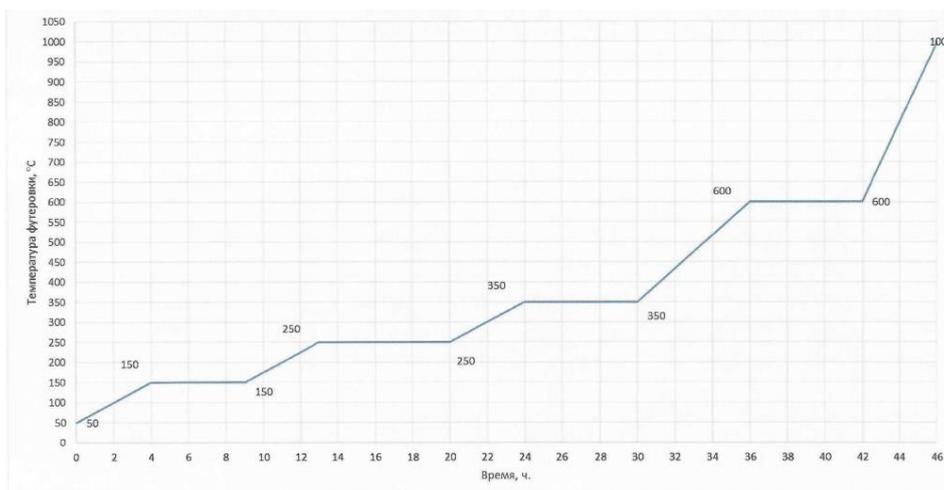


Рис. 2 – График сушки футеровки сталеразливочного ковша после промежуточного ремонта с расходом бетона до 5 тонн включительно

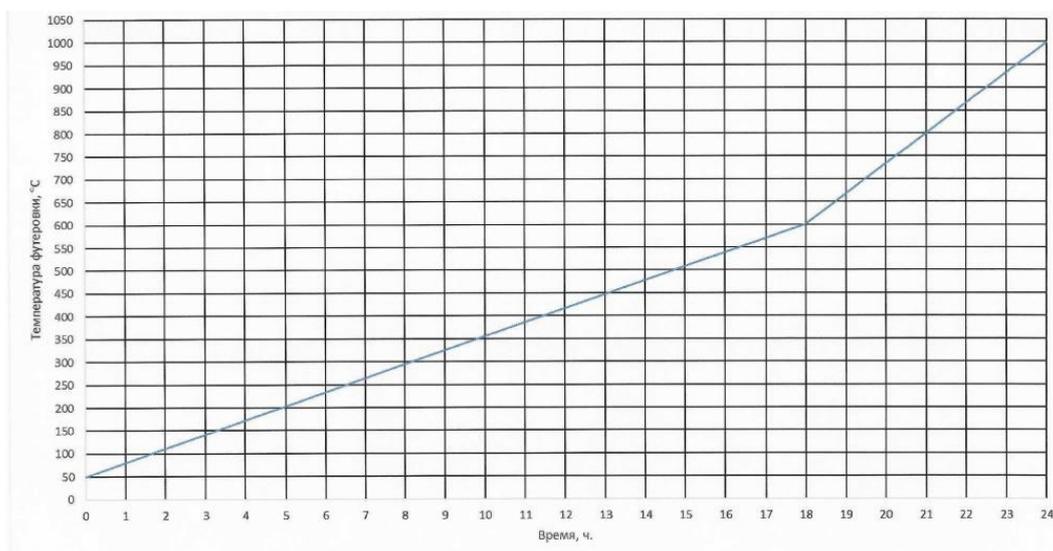


Рис. 3 – График сушки футеровки сталеразливочного ковша после промежуточного ремонта с расходом бетона до 1,5 тонн включительно

В связи с тем, что фурма донной продувки стала сменной и имеется возможность её замены без вывода сталеразливочного ковша на промежуточный ремонт, в ЭСПЦ внедрена технология продувки металла аргоном сразу двумя фурмами донной продувки. Также, ранее, первая продувка производилась только фурмой верхней продувки с целью экономии ресурса фурм верхней продувки, сейчас же продувка производится фурмами донной продувки, что позволило снизить удельный расход огнеупорных материалов, затрачиваемых на продувку стали с 0,65 кг/т до 0,15 кг/т, при этом качественные показатели не изменились.

Следует отметить, произошло снижение удельных расходов огнеупорных изделий, затрачиваемых на футеровку дна сталеразливочного ковша порядка на 0,5 кг/т.

Недостатки, выявленные в процессе проведения испытаний - сушка после заливки дна стальной ковша, по опытной технологии, производится по разным графикам сушки в течении 24, 46 и 60 часов.

Положительные стороны новой технологии:

- опытная технология заливки дна огнеупорным бетоном показала экономический эффект более **34%** по сравнению с серийно применяемой технологией использования штучных изделий для футеровки дна сталеразливочных ковшей;
- технология применения продувочных узлов с заменой отработанной фурмы продувочного блока в течении горячей кампании стальной ковша в процессе испытаний работоспособна;
- организована стабильная продувка через две донные фурмы в 98 - 100% случаев (ранее осуществлялась через одну фурму).

Выводы:

В ходе проведенных испытаний выбран подходящий вариант футеровки стальной ковша, благодаря которому снижается себестоимость при производстве стали. Подобрано три графика сушки бетонов для рабочего слоя дна. Внедрена технология продувки металла аргонном сразу двумя фурмами донной продувки без снижения качественных показателей производимой стали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Ozlib.com. Себестоимость продукции черной металлургии РФ и пути ее снижения. https://ozlib.com/1044671/ekonomika/sebestoimost_produktsii_chernoy_metallurgii_puti_snizheniya?ysclid=m3har9kcve98958621

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ШЛАКА ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ ПРИ ПОПАДАНИИ В СТАЛЬКОВШ ШЛАКА ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА

Сазонов А.В., Хантимиров В.Э.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
shiller82@mail.ru

Аннотация. В статье обозначена проблема попадания окислительного шлака в стальковш в процессе выпуска металла из ДСП – 130, приведены расчетные данные по изменению химического состава рафинировочного шлака в стальковше при попадании окислительного шлака различной массы

Ключевые слова: эркерный выпуск; окислительный шлак; рафинировочный шлак при внепечной обработке; основность; изменение химического состава; чушковый алюминий.

ASSESSMENT OF CHANGES IN THE CHEMICAL COMPOSITION OF SLAG DURING OUT-OF-FURNACE TREATMENT WHEN SLAG OF THE OXIDATIVE PERIOD ENTERS THE STEEL

Sazonov A.V., Khantimirov V.E.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The article identifies the problem of oxidative slag entering the steel bowl during the release of metal from chipboard – 130, provides calculated data on the change in the chemical composition of refining slag in the steel bowl when oxidative slag of various masses enters

Keywords: bay window outlet; oxidizing slag; refining slag during out-of-furnace processing; basicity; change in chemical composition; ingot aluminum.

На одном из металлургических предприятий нашей страны электросталь выплавляют в ДСП емкостью 130 т (ДСП - 130). Печь оборудована трансформатором мощностью 130 + 20 % МВт. Особенность данной ДСП – возможность работы с жидким «болотом» [1]. ДСП

имеет эркерный выпуск металла с возможностью практически полной отсечки печного окислительного шлака. Основные преимущества использования эркерного выпуска известны: - более быстрый выпуск, компактная струя; - пониженная газонасыщенность стали; - возможность увеличения водоохлаждаемой поверхности стен; - повышение стойкости стальной ванны, обусловленное падением струи в постоянное место на днище и отсутствием окисленного шлака в стальной ванне и т.д. Несмотря на отмеченные преимущества, эркерный выпуск имеет ряд существенных недостатков: - полностью не исключается попадание окисленного шлака в стальную ванну, особенно при низком уровне жидкого остатка в ДСП; - в процессе слива создается турбулентный поток, который приводит к неравномерному износу эркерного отверстия; - движение металла при сливе принимает вихреобразную спиралеобразную форму, что увеличивает время движения металла по каналу эркера и вследствие чего увеличивает время слива и износ эркера; - время выпуска нестабильно в течение кампании применения эркера и зависит от износа составляющих его огнеупоров; - периодически требуется замена огнеупоров эркера, при этом необходимо производить остановку ДСП [2].

Применяемые огнеупоры для эркера (данные таблицы 1) позволяют достичь стойкости около 120 плавов – по мере увеличения количества сливов происходит «размывание» периклазуголеродистых огнеупоров выпускного отверстия, что приводит к увеличению количества плавов без полной отсечки окислительного шлака.

Таблица 1 – Физико-технические показатели огнеупоров выпускного отверстия ДСП - 130

Составная часть	Содержание компонента, %					
	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	C _{ост.} , %
Блок гнездовой	> 97,0	0,3	< 1,0	0,2	< 2,0	10,0 – 12,0
Втулка и кольца	> 97,0	0,2	< 1,0	0,2	< 2,0	12,0 – 14,0
Ankertaр BX13 (кольца, RHI)	97,5	0,2	0,6	0,5	1,3	15,0
Ankertaр OX73 (втулка, RHI)	97,5	0,2	0,5	0,5	1,3	14,0
Ankertaр SX53 (гнездовой блок, RHI)	97,0	0,2	0,5	0,4	1,3	14,0

В таблице 2 приведены усредненные данные по химическому составу окислительного шлака в ДСП – 130 и при внепечной обработке (данные по 30 промышленным паспортам).

Таблица 2 – Усредненные значения химического состава окислительного шлака и шлака при внепечной обработке

FeO	SiO ₂	CaO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	B
Шлак окислительного периода						
25,90	17,30	32,49	5,16	5,12	5,88	2,20
Шлак при внепечной обработке						
0,76	18,01	56,34	7,36	0,42	10,61	3,69

Несомненно, что попадание окислительного шлака в стальной ковш негативно сказывается на технико-экономических показателях при внепечной обработке.

В технологической инструкции [3] указано: «В случае попадания шлака ДСП в стальной ковш, немедленно необходимо снизить расход аргона до 50 - 100 л/мин и присадить в стальной ковш чушковый алюминий в количестве 2 - 3 чушек с площадки выпуска ДСП или рабочей площадки УПК. В случае отсутствия алюминиевых чушек по прибытию стального ковша на УПК в ковш отдать FeSi в количестве 100 - 150 кг».

По соответствующей методике [4] выполнили расчет массы рафинировочного шлака при внепечной обработке металла на установке ковш – печь для эффективного удаления серы до необходимой концентрации – она составила около 2,5 т.

Поскольку массу печного шлака, попадающего в стальной ковш, невозможно определить или каким либо образом рассчитать, выбрали численные значения его массы в определенном диапазоне – от 100 до 500 кг.

Зная усредненный химический состав окислительного и рафинировочного шлаков, рассчитали изменение химического состава шлака при внепечной обработке при попадании окислительного шлака в стальной ковш – данные таблицы 3.

Таблица 3 – Изменение химического состава шлака в стальковше при попадании шлака окислительного периода ДСП – 130

Содержание	Содержание отдельных оксидов, % (кг)						Основность шлака ($B = \frac{CaO}{SiO_2}$)
	FeO	SiO ₂	CaO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	
Состав рафинировочного шлака в стальковше – случай полной отсечки шлака (масса шлака в стальковше 2500 кг)							

Содержание	Содержание отдельных оксидов, % (кг)						Основность шлака ($B = \text{CaO}/\text{SiO}_2$)
	FeO	SiO ₂	CaO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	
%	0,76	18,01	56,34	7,36	0,42	10,61	3,13
кг	19,09	450,17	1408,62	184,04	10,44	265,32	-
Состав рафинировочного шлака в сталковше – случай попадания 100 кг окислительного шлака в сталковш (масса шлака в сталковше 2600 кг)							
%	1,73	17,98	55,43	7,28	0,60	10,43	3,08
кг	44,99	467,46	1441,11	189,20	15,56	271,20	-
Состав рафинировочного шлака в сталковше – случай попадания 200 кг окислительного шлака в сталковш (масса шлака в сталковше 2700 кг)							
%	2,63	17,95	54,58	7,20	0,77	10,26	3,04
кг	70,90	484,76	1473,60	194,37	20,68	277,08	-
Состав рафинировочного шлака в сталковше – случай попадания 300 кг окислительного шлака в сталковш (масса шлака в сталковше 2800 кг)							
%	3,46	17,93	53,79	7,13	0,92	10,11	3,00
кг	96,80	502,06	1506,09	199,53	25,81	282,95	-
Состав рафинировочного шлака в сталковше – случай попадания 400 кг окислительного шлака в сталковш (масса шлака в сталковше 2900 кг)							
%	4,23	17,91	53,05	7,06	1,07	9,96	2,96
кг	122,70	519,35	1538,58	204,69	30,93	288,83	-
Состав рафинировочного шлака в сталковше – случай попадания 500 кг окислительного шлака в сталковш (масса шлака в сталковше 3000 кг)							
%	4,95	17,89	52,37	7,00	1,20	9,82	2,93
кг	148,61	536,65	1571,08	209,86	36,05	294,71	-

Анализируя данные таблицы 3 можно сказать: увеличение массы окислительного шлака, попадающего в сталковш, приводит к увеличению концентрации (FeO) и к снижению величины основности – как результат этого негативного явления: уменьшение величины свободного борта сталковша (в некоторых случаях производится скачивание шлака из сталковша с последующим наведением нового шлака), увеличение длительности внепечной обработки, увеличение удельного расхода электроэнергии, увеличение расхода дополнительных раскислителей (Al или FeSi) и др.

Произвели расчет расхода, дополнительно расходуемого чушкового Al для дополнительного раскисления рафинировочного шлака из следующих соображений. В ДСП – 130 в год выплавляет около 11545 плавков со средней массой 133,8 т. Предположили, что около 10 % от общего количества плавков выпускается с попаданием значительной массы окислительного шлака в стальковш. Средний расход Al – 25 кг/плавку.

При средней цене на чушковый Al в 281000 руб./т рассчитали экономические затраты на дополнительный чушковый Al – они составили более 8,1 млн. руб./год.

Выводы: попадание окислительного шлака негативным образом сказывается в целом на показателях при внепечной обработке. Одним из вариантов по уменьшению этого негативного явления является использование современных быстродействующих систем детектирования шлака в струе металла при выпуске, которые могут формировать рекомендации в режиме реального времени, к примеру, по изменению угла наклона ДСП, если соотношение между металлом и шлаком в струе больше или равно заданному пороговому значению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Инновационное развитие электросталеплавильного производства: монография / А.Г. Шалимов, А.Е. Семин, А.Г. Галкин, К.Л. Косырев. - М. : Metallurgizdat, 2014. - 308 с.
2. Тулуевский, Ю. Н. Инновации для дуговых сталеплавильных печей. Научные основы выбора: монография / Ю. Н. Тулуевский, И. Ю. Зинуров. - Новосибирск: Издательство НГТУ, 2010. - 347 с.
3. Технологическая инструкция выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи ТИ 19.2 – 01 – 2021
4. Metallургические мини-заводы / А.Н. Смирнов, В.М. Сафонов, Л.В. Дорохова, А.Ю. Цупрун. - Донецк: НОРД-ПРЕСС, 2005. - 469 с.
5. Проект года Global CIO «Система детектирования шлака при выпуске металла из ДСП» - Режим доступа [http:// www. globalcio.ru/](http://www.globalcio.ru/) (дата обращения: 20.10.24)

**К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ИЗВЕСТИ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ
ОТСОРТИРОВКИ ИЗВЕСТНЯКА – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
АСПЕКТ (СООБЩЕНИЕ 1)**

Сазонов А.В., Жилин Е.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
shiller82@mail.ru*

***Аннотация.** В статье проведен анализ изменения основных показателей работы двухшахтной печи для обжига известняка за счет изменения технологии изначальной отсортировки известняка – замены резинового сита с ячейками размером 40 × 40 мм на 80 × 80 мм. Также проанализировано влияние изменения изначальной технологии отсортировки исходного известняка на изменение некоторых показателей при электроплавке стали*

Ключевые слова: металлургическая известь; двухшахтная печь для обжига известняка; исходный известняк; изначальная отсортировка известняка; резиновое сито; изменение показателей работы.

**ON THE ISSUE OF IMPROVING THE TECHNOLOGY OF OBTAINING
METALLURGICAL LIME BY CHANGING THE TECHNOLOGY OF LIMESTONE
SORTING – TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC ASPECTS (MESSAGE 1)**

Sazonov A.V., Zhilin E.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article analyzes the changes in the main performance indicators of a double-shaft limestone kiln due to a change in the technology of initial limestone sorting - replacing a rubber sieve with cells measuring 40 × 40 mm by 80 × 80 mm. The influence of changes in the initial technology of sorting the initial limestone on changes in some indicators during electric steel melting is also analyzed*

Keywords: metallurgical lime; double-shaft limestone kiln; initial limestone; initial limestone sorting; rubber sieve; change in performance.

На одном из металлургических предприятий металлургическая известь производится в трех двушахтных печах для обжига известняка. Полученная известь используется при выплавке электростали. Проектная производительность каждой печи составляет от 100 до 160 т/сутки с удельным расходом тепла от сжигания природного газа от 3640 до 3891 кДж/т. Печь предназначена для обжига известняка крупностью от 40 до 120 мм. Печь работает под избыточным давлением [1]. За 2022 год годовой объем произведенной металлургической извести составил 61548,70 т/год.

Требования к химическому составу металлургической извести приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Требования к химическому составу извести [2]

Массовая доля, %					
CaO + MgO не менее	MgO не более	SiO ₂ не более	S не более	P не более	ППП не более
85,0	6,0	2,5	0,08	0,10	12,0

Поскольку используемый известняк имеет различный класс крупности перед его разгрузкой в печь его необходимо отсортировать (делать просев). Данные по изначальной крупности используемого известняка приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Крупность используемого известняка [2]

Крупность куска известняка (класс), мм	Допускается содержание по массе кусков величиной	
	Менее минимального значения	Более максимального значения
от 80 до 120	не более 10 %	не более 10 %, но не более 130 мм
от 50 до 120	не более 10 %	не более 10 %, но не более 130 мм
от 40 до 70	не более 10 %	не более 10 %, но не более 80 мм

Базовая технология отсортировки предполагала [1], что для отсортировки известняка необходимо использовать резиновое сито с ячейкой размером 40 × 40 мм. При этом скорость подачи ленточного конвейера составляла около 37 % от номинальной скорости. Получаемый

отсев известняка фракцией от 0 до 40 мм после этого отгружался в штабель для дальнейшей продажи или утилизации. Величина удельного отсева известняка составляла 0,212 т/т.

Данное сито и скорость грохота не позволяла производить достаточный отсев мелкой фракции, так как известняк мелкой фракции «наездником» попадал в бункер и не отсортировывался. Попадание мелкой фракции в шахтную печь приводило к ухудшению прохождения газа, вследствие чего это приводило к локальному спеканию мелкой фракции («козлению» печи) и «недожогу» фракции, которая находилась выше спекшегося участка. Также нередко были случаи по «пережогу» мелкой фракции, которая находилась ниже по слою [4].

«Козление» печи снижало производительность и ухудшало качество самой получаемой металлургической извести.

Исходя из проблемных аспектов использования такой технологии отсортировки, на печах была изменена технология отсортировки - установка сита с размером ячейки на грохоте 80 × 80 мм и снижение скорости подачи ленточного конвейера до 30 % от номинальной скорости.

Получаемый отсев фракцией от 0 до 80 мм начали использовать для загрузки в шахтную печь № 3, где было установлено нижнее сито размерами 30 × 30 мм. Фракция от 0 до 30 мм попадала в отсев, а фракция от 30 до 80 мм использовалась для производства извести.

Изменение технологии изначальной отсортировки известняка позволило добиться снижения времени начала реакции и скорости реакции. До изменения технологии максимальное время начала реакции доходило до десяти минут. В некоторых случаях получаемая известь вообще не вступала в бурную реакцию, так как образовывался «пережог» извести в печи.

Для времени начала реакции получаемой извести получена зависимость:

$$y = 8 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 - 0,073 \cdot x + 1662, R^2 = 0,811$$

где x – текущее время после изменения технологии отсортировки.

Значение минимальной активности извести после изменения изначальной технологии отсортировки известняка составила от 83 до 88 % (до изменения технологии эта величина составляла 72 – 79 %), что говорит о снижении количества «недопала» в отгружаемой металлургической извести в электросталеплавильный цех.

Для изменения активности извести получена зависимость:

$$y = -0,0001 \cdot x^2 + 15,63 \cdot x - 35157, R^2 = 0,923$$

После изменения технологии количество случаев «козления» не выявлено, тем самым печь для производства извести стала работать более стабильно: получена зависимость случаев «козления» от времени:

$$y = 0,00011 \cdot x^2 - 10,18 \cdot x + 22929, R^2 = 0,778$$

Также за счет изменения изначальной технологии отсортировки известняка общее количество применяемого природного газа так же снизилось из-за более стабильной работы печи с 0,122 до 0,096 тыс. м³/т извести.

Изменение технологии отсортировки положительным образом сказалась на некоторых показателях электроплавки стали – в основном эти улучшения связаны с увеличением активности получаемой металлургической извести.

В технологической инструкции [5] указано, «при получении по первой пробе высокого содержания фосфора необходимо увеличить количество вдуваемого в ванну ДСП кислорода, произвести дополнительную присадку извести через отверстие в своде порцией до 1000 кг с вдуванием карбюризатора для вспенивания шлака».

В данном случае можно предположить, что более активная известь способствует более быстрому процессу дефосфорации в окислительный период электроплавки и в какой-то степени интенсифицирует процесс десульфурации [6].

Использование металлургической извести с увеличенной активностью позволило снизить содержание серы и фосфора в среднем на 0,002 % для каждого вредного элемента.

За счет более быстрого протекания процесса дефосфорации позволило сократить величину расходного коэффициента металлошихты – его величина уменьшилась с 1,114 до 1,108 т/т жидкой стали.

За счет уменьшения расходного коэффициента металлошихты увеличился средний вес плавки – с 133,87 до 135,8 т.

В заключении стоит сказать, что изменение технологии изначальной отсортировки известняка положительным образом сказалось не только на работе шахтных печей, но и позволило улучшить некоторые технико-экономические показатели электроплавки – по нашему мнению это является следствием получения более качественной металлургической извести: увеличение активности, уменьшение «пережога» и «недожога».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Технологическая инструкция Производство металлургической извести в двухшахтной обжиговой печи участка производства извести электросталеплавильного цеха ТИ 19.15 – 02 – 2023

2. Регламент контроля качества известковых материалов Р – 61 – 01 – 20213
Технические требования к известнякам для производства извести в известково – обжиговых печах ТТ 19.15 – 01 – 2022

4. Копцев, В.В. Совершенствование технологии и техники производства металлургической извести: монография / Копцев В. В.; М-во образования и науки Рос. Федерации, Магнитог. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова. - Магнитогорск: МГТУ, 2004. - 148 с.

5. Технологическая инструкция выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи
ТИ 19.2-01-2021

6. Ассимиляция извести и растворение шлакообразующих в процессе формирования шлака - Режим доступа: [http: // www. metallurgist.pro/rastvorenie-shlakoobrazuyushhih-i-formirovanie-shlaka/](http://www.metallurgist.pro/rastvorenie-shlakoobrazuyushhih-i-formirovanie-shlaka/) (дата обращения: 20.10.24)

УДК 669

**К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ИЗВЕСТИ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ
ОТСОРТИРОВКИ ИЗВЕСТНЯКА – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
АСПЕКТ (СООБЩЕНИЕ 2)**

Сазонов А.В., Жилин Е.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
shiller82@mail.ru

***Аннотация.** В статье сделана экономическая оценка эффективности изменения технологии изначальной отсортировки известняка – замены резинового сита с ячейками размером 40 × 40 мм на 80 × 80 мм.*

Ключевые слова: увеличение объема производства; экономическая эффективность; металлургическая известь собственного производства; покупная известь; удельный расход извести на 1 т электростали.

**ON THE ISSUE OF IMPROVING THE TECHNOLOGY OF OBTAINING
METALLURGICAL LIME BY CHANGING THE TECHNOLOGY OF LIMESTONE
SORTING – TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC ASPECTS (MESSAGE 2)**

Sazonov A.V., Zhilin E.A.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article makes an economic assessment of the effectiveness of changing the technology of initial limestone sorting – replacing a rubber sieve with cells measuring 40 × 40 mm by 80 × 80 mm*

Keywords: increase in production volume; economic efficiency; metallurgical lime of own production; purchased lime; specific consumption of lime per 1 ton of electric steel.

В сообщении 1 основной упор делался на анализ изменения основных показателей работы двухшахтных печей для обжига известняка в результате изменения изначальной

отсортировки исходного известняка – замена резинового сита с ячейкой размером 40×40 мм на резиновое сито с ячейкой размером 80×80 мм [1].

Однако, немаловажным аспектом является и экономическая составляющая при совершенствовании технологии получения качественной металлургической извести [2].

В целом можно сказать, что рассматриваемое в данной статье предприятие, является динамически развивающимся – за последнее время производительность по жидкой электростали выросла на значительную величину – увеличение составляет около 105 тыс. т/год. Столь высокий рост объема производства был достигнут за счет совершенствования технологии электроплавки, в частности оптимизации электрического режима, работы топливно-кислородных горелок и т.д. Соответственно, предприятию необходимо большее количество извести. За счет оптимизации технологии в дуговой печи расход металлургической извести вырос на величину 8 кг/т.

В сообщении 1 было указано, что производительность двухшахтных печей для обжига известняка может меняться в больших диапазонах – от 100 до 160 т/сутки, то есть имеется существенный резерв по производству собственной извести.

На рассматриваемом предприятии в технологическом процессе используется как металлургическая известь собственного производства, так и покупная. Несомненным является тот факт, что использование в большей степени металлургической извести собственного производства предприятию экономически более выгодно – стоимость покупной извести почти в 2,4 выше.

После замены резинового сита с ячейкой размером 40×40 мм на резиновое сито с ячейкой размером 80×80 мм и увеличения производительности двухшахтных печей объем производства собственной извести вырос на 20,4 тыс. т/год.

При этом удельный расход известкового камня уменьшился на 82 кг/т – в отсев уходим только известняк фракцией от 0 до 30 мм только с двухшахтной печи № 3.

За счет изменения технологии отсортировки известняка и увеличения объема производства качественной металлургической извести общее количество применяемого природного газа снизилось в результате более стабильной работы печи – уменьшение составило 0,026 тыс. м³/т извести.

За счет увеличения объема производства металлургической извести на 20,4 тыс. т/год расход природного газа увеличился на величину 1082,2 тыс. м³/году - расходы на природный газ выросли на 5,2 млн. руб./год (это расчетное значение).

За счет увеличения объема производства собственной извести (на 20,4 тыс. т/год) удельный расход собственно-произведенной извести увеличился на 20,12 кг/т электростали. Соответственно, удельный расход покупной извести уменьшился на 16,97 кг/т электростали.

Масса использованной собственно-произведенной извести при этом увеличилась на 28,9 тыс. т/год, соответственно масса использованной покупной извести уменьшилась на 24,4 тыс. т/год.

Выше было указано, что покупная известь дороже собственно-произведенной в 2,4 раза. Дальнейшие расчеты показали, что экономический эффект от разницы в затратах на производство и покупку извести составляет более 33,2 млн. руб./год.

С учетом увеличившихся затрат на природный газ за счет увеличения объема производства качественной металлургической извести экономический эффект от совершенствования технологии для изначальной отсортировки (отсева) используемого известняка (изменение размеров ячеек используемого сита) общий экономический эффект составил более 28 млн. руб./год.

Для наглядности полученных результатов составили таблицу 1, в которой приведены основные полученные результаты.

Таблица 1 – Результаты расчета экономической эффективности

Показатель	Изменение
Увеличение производства качественной извести, тыс. т/год	20,4
Уменьшение возвратных отходов 1 т известняк, кг/т	82
Уменьшение удельного расхода природного газа, тыс. м ³ /т	0,026
Увеличение расхода природного газа, тыс. м ³ /год	1082,299
Увеличение затрат на природный газ, млн. руб./год	5,259
Увеличение удельного расхода собственно-произведенной извести, кг/т	20,12
Уменьшение удельного расхода покупной извести, кг/т	16,97
Экономический эффект от разницы в затратах на производство и покупку извести, млн. руб./год	33,279
Общий экономический эффект с учетом увеличения затрат на природный газ, млн. руб.	28,019

В заключении следует отметить, что цена резинового сита с размером ячейки 80 × 80 мм сопоставима с ценой резинового сита с размером ячейки 40 × 40. Соответственно, дополнительных затрат на производство не предполагается – срок окупаемости предложенного мероприятия отсутствует.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Отчет по изменению технологии в работе известковых печей на участке производства извести
2. Экономика и организация производства на предприятиях черной металлургии: учеб. пособие / С.А. Гладышев, И.В. Кузнецова, В.М. Ледовской. - Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2004. - 288 с.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ПРОМКОВШЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЛАЗМЕННОГО ПОДОГРЕВА

Сазонов А.В., Черменев Е.А., Дураков В.Ю.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
Россия, г. Старый Оскол
shiller82@mail.ru*

***Аннотация.** В статье обозначена проблема по необходимости стабилизации температурного режима в промковше, приведены негативные стороны значительного и незначительного перегрева стали выше температуры ликвидус, рассмотрен вариант использования плазматронов для стабилизации температурного режима*

Ключевые слова: промковш; температура ликвидус; перегрев; непрерывная разливка; плазматрон; повышение качества заготовок.

ABOUT THE PECULIARITIES OF STABILIZATION OF THE TEMPERATURE REGIME IN THE INDUSTRIAL BOWL WHEN USING PLASMA HEATING

Sazonov A.V., Chermeney E.A., Durakov V.Yu.

*Starooskolsky Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational
Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS"
Russia, Stary Oskol*

***Abstract.** The article identifies the problem of the need to stabilize the temperature regime in the industrial furnace, shows the negative sides of significant and insignificant overheating of steel above the liquidus temperature, and considers the option of using plasma torches to stabilize the temperature regime*

Keywords: promkovsh; liquidus temperature; overheating; continuous casting; plasmatron; improvement of the quality of workpieces.

Для обеспечения качества стали и стабильности процесса разливки на машинах непрерывной литья заготовок (МНЛЗ) важно поддержание оптимального уровня температуры разливаемого металла в промковше.

При осуществлении технологического процесса по «доставке» жидкой стали в кристаллизатор МЛНЗ он остывает – основная причина этому явлению: возникающие тепловые потери [1].

Процесс непрерывной разливки, при котором жидкий металл перегрет выше температуры плавления на значительную величину, сопряжен также с рядом негативных последствий: к ним можно отнести: увеличение трещиностойкости; чрезмерное, в некоторых случаях, неуправляемое развитие столбчатой структуры; возникновение центральной пористости и многим другим дефектам, связанным с особенностями возникающей макроструктуры заготовки; возникновение прорывов (аварийная ситуация при разливке).

На рисунке 1 приведены данные количеству случаев по перегреву жидкой стали в процессе разливки – основная доля перегрева до 30 °С.

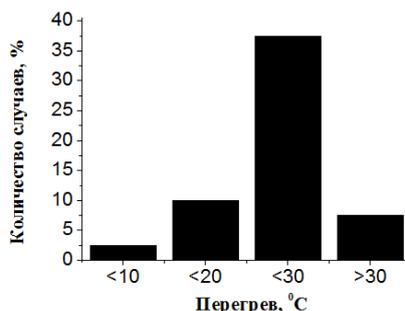


Рис.1 – Распределение значений перегрева жидкой стали в промковше (данные по 55 эксплуатируемым МЛНЗ) [2]

В тоже время, незначительный перегрев также сопряжен с рядом негативных последствий, к которым можно отнести: затягивание погружных стаканов, дозаторов в промковше, зарастание каналов в шиберных затворах промковша и стальковша; образование «коржей» на поверхности жидкого металла в кристаллизаторе и т.д.

Проанализировали температурные режимы непрерывной разливки стали – для этого исходя из химического состава, рассчитали температуру ликвидус ($t_{л}$, °C):

$$t_{л} = 1536 - (76 \cdot C + 7,6 \cdot Si + 4,9 \cdot Mn + 1,3 \cdot Cr + 3,1 \cdot Ni + 4,7 \cdot Cu + 3,6 \cdot Al + 34,4 \cdot P + 38,0 \cdot S) \quad (1)$$

- рассчитали отношение средней температуры жидкой стали ($t_{ср}$, °C) в промковше за серию к значению $t_{л}$, отношение рекомендованной верхней и нижней температуры разливки ($t_{верх}$ и $t_{ниж}$, °C) к $t_{л}$, отношение средней температуры первой плавки в серии ($t_{перв}$, °C) и последней ($t_{посл}$, °C) к $t_{л}$. Данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные значения отношений температур к t_L

Усл. марка разлив. стали	Отношение различных температур к значению t_L				
	$t_{ср.} / t_L$	$t_{верх.} / t_L$	$t_{ниж.} / t_L$	$t_{перв.} / t_L$	$t_{посл.} / t_L$
1 марка	1,026	1,019	1,029	1,028	1,022
2 марка	1,022	1,009	1,020	1,052	1,015
3 марка	1,024	1,016	1,026	1,024	1,024
4 марка	1,021	1,016	1,026	1,023	1,023

В пересчете на температуру перегрева ($t_{пер.}$, °С) относительно значения t_L получены значения от 32,2 до 37,3 °С, что подтверждают данные рисунка 1.

Также была построена зависимость для одной из марок сталей (1 марка) – данные рисунка 1.

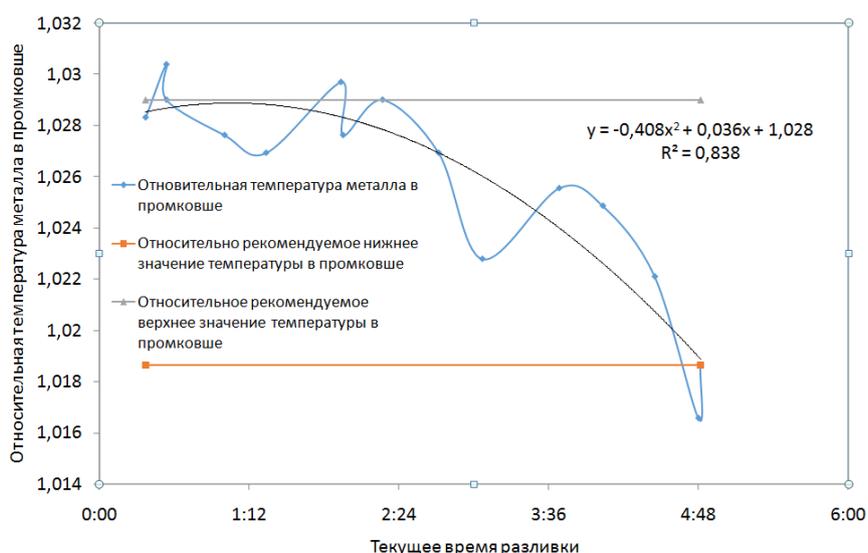


Рис. 1 – Температурный режим разлива в относительных единицах

Из рисунка 1 очевидно – серия состояла из 4 плавов, первая плавка «перегрета», далее температура разливаемого металла уменьшалась, что видно из полученной зависимости.

По данным работы [3] оптимальный перегрев металла в промковше должен быть от 10 до 15 °С. Уменьшение степени перегрева металла в промковше приводит к следующим положительным явлениям: способствует уменьшению зоны столбчатых кристаллов; уменьшается вероятность появления и развития осевой ликвации; способствует увеличению зоны разориентированных кристаллов; способствует уменьшению усадочных и ликвационных явлений; уменьшается количества дефектов поверхности, внутренних трещин слитка.

Одним из вариантов по стабилизации температурного режима является использование плазменного подогрева. Такой подогрев способствует минимизации перегрева до уровня 10 – 15 °С, что повышает однородность макроструктуры и качество заготовки [4].

Несомненно, использование плазматронов в нашей стране не нашло широкого применения в виду различных причин. Однако, в условиях кислородно-конверторного цеха ПАО «ММК» проводились исследования [5] использования плазматронов специальной конструкции [6] при разливке марки стали 08пс.

Плазматроны использовались для подогрева жидкой стали в проковше – данные рисунка 2.

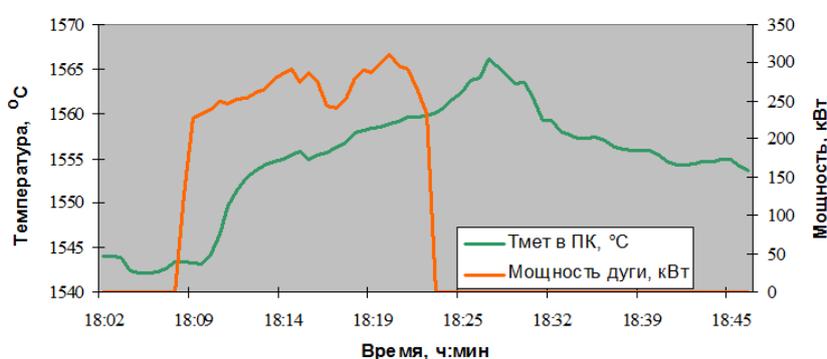


Рис. 2 – Изменение температуры жидкой стали в проковше при использовании плазменного подогрева (марка стали 08пс) (в соответствии с данными [5])

В целом, на основе данных [4 - 6] можно сформулировать следующие преимущества процесса плазменного подогрева стали:

- снижение температуры стали над линией ликвидуса до 5 - 10 °С и поддержание ее постоянной в процессе разливки;
- уменьшение осевой ликвации, химической и структурной неоднородностей в заготовках на величину от 25 до 50 %;
- практически полное исключение «холодных» плавок и потерь из-за них металла в технологическом процессе разливки;
- возможность использования слябовых заготовок МНЛЗ при снижении уровня осевой ликвации для производства трубных сталей и судового металла (с регламентированными свойствами в Z – направлении листа) для ответственного назначения, в том числе плит толщиной до 100 мм;
- возможность применения заготовок диаметром от 100 до 170 мм для получения продукции ответственного назначения (подшипниковая сталь, металлокорд и т.п.);

- срок окупаемости затрат, связанных с разработкой, монтажом и эксплуатацией установки плазменного подогрева составляет от одного до двух лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Вдовин, К. Н. Непрерывная разливка стали: монография / К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, И.М. Ячиков. - Магнитогорск: Издательство Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2012. - 540 с.
2. Центральная сегрегационная неоднородность в непрерывнолитых заготовках и толстолистовом прокате / Белый А.П., Исаев О.Б., Матросов Ю.И. и др. - М.: Metallurgizdat, 2005.- 213 с.
3. Исакаев Э.Х., Тюфтяев А.С., Филиппов Г.А., Юсупов Д.И. // Исследования макроструктуры и механических свойств стали, разлитой с применением плазменного подогрева в промежуточном ковше МНЛЗ // Metallurg, 2013. № 5. С. 69-74
4. Исакаев Э.Х., Ильичёв М.В., Мордынский В.Б., Тюфтяев А.С., Филиппов Г.А., Юсупов Д.И., Сарычев Б.А., Чернов П.Ю. Установка плазменного подогрева стали в промежуточном ковше // Бюллетень «Черная металлургия», 2012. №11. С. 42-45.
5. Применение плазменного подогрева металла в промежуточном ковше на примере технологии получения непрерывнолитых слябов на ОАО «ММК» / Ю.А. Пак, М.В. Глухих, А.С. Тюфтяев, Г.А. Филиппов, Д.И. Юсупов // Проблемы черной металлургии и металловедения, 2013 - № 2. С. 21-25.
6. Патент 2152445 Российская Федерация, МПК В23К 10/00 Устройство для плазменной обработки / М.-Э. Х. Исакаев, А.С. Тюфтяев, А.Э. Яблонский. - № 2152445; заявлено 04.03.1999; опубликовано 10.07.2000; Бюл. № 5. – С. 22-26: 2 ил.

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОПЛАВКИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ
ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ И ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРИОД**

Сазонов А.В., Черменев Е.А., Понкратов Н.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
Россия, г. Старый Оскол
shiller82@mail.ru*

***Аннотация.** В статье оценка эффективности процесса электроплавки при изменении токовой нагрузки с 68 до 58 кА и индуктивного сопротивления с 3,5 до 5,5 мОм в период расплавления*

Ключевые слова: управляемый реактор; токовая нагрузка; индуктивное сопротивление; изменение; стабильность токовой нагрузки; уменьшение длительности электроплавки.

**EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE ELECTRIC MELTING PROCESS WHEN
CHANGING THE CURRENT LOAD AND INDUCTIVE RESISTANCE DURING THE
ENERGY PERIOD**

Sazonov A.V., Chermenev E.A., Ponkratov N.V.

*Starooskolsky Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational
Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS"
Russia, Stary Oskol*

***Abstract.** The article evaluates the efficiency of the electric melting process when the current load changes from 68 to 58 kA and the inductive resistance from 3.5 to 5.5 mOhm during the melting period*

Keywords: controlled reactor; current load; inductive resistance; change; current load stability; reduction of electric melting time.

В работах [1 - 3] представлены данные по показателям электроплавки в ДСП – 150 при использовании различной токовой нагрузки – 50 и 60 кА соответственно (степень напряжения 23 – трансформатор 90 МВт).

Анализ этих данных показывает, что при использовании тока дуги 50 кА длительность периода расплавления примерно на 7,6 % уменьшается, удельный расход электроэнергии уменьшился на 2,8 % [1].

В тех же работах отмечается [1 - 3], что режим плавления завалки на токе дуги 50 кА протекает более стабильнее, с меньшими колебаниями токовой нагрузки и активной мощности. Снижение дисперсии тока достигнуто за счет увеличения индуктивного сопротивления, которое возможно изменить двумя способами [4]:

1) установкой и включением в схему ДСП реактора, что связано с некоторыми техническими трудностями и материальными затратами;

2) поддержанием в период плавления лома такого тока дуги, который будет приводить к увеличению индуктивного сопротивления и уменьшению тока эксплуатационного короткого замыкания в 1,5 - 2 раза, снижению дисперсии тока в два раза.

При использовании тока дуги 50 кА с измененным значением индуктивного сопротивления их открытые части, незаглубленные в расплавленный металл, имеют большую длину. В связи с этим все колодцы за меньший период времени формируются в один, что способствует более быстрому расплавлению. Более длинные электрические дуги, обладающие большей мощностью, излучают на общий колодец, расширяя его. При использовании тока дуги 60 кА электрические дуги достигают лужи на дне металла на подине ДСП и заглубляются в металл. Глубина мениска при использовании тока 50 и 60 кА отличается примерно на 30 мм.

Поэтому при использовании тока дуги 50 кА на лом излучается около 50 % длины дуги, а при работе на 60 кА только 40 % ее длины. При работе на токе 60 кА расплавление лома идет «снизу», в большей части за счет теплопроводности расплава, так как дуги заглублены. Условия плавления лома в этом случае хуже, более часто возникают обвалы шихты.

Также необходимо проанализировать мощностные характеристики полученные авторами работ [1 - 3], которые приведены на рисунке 1.

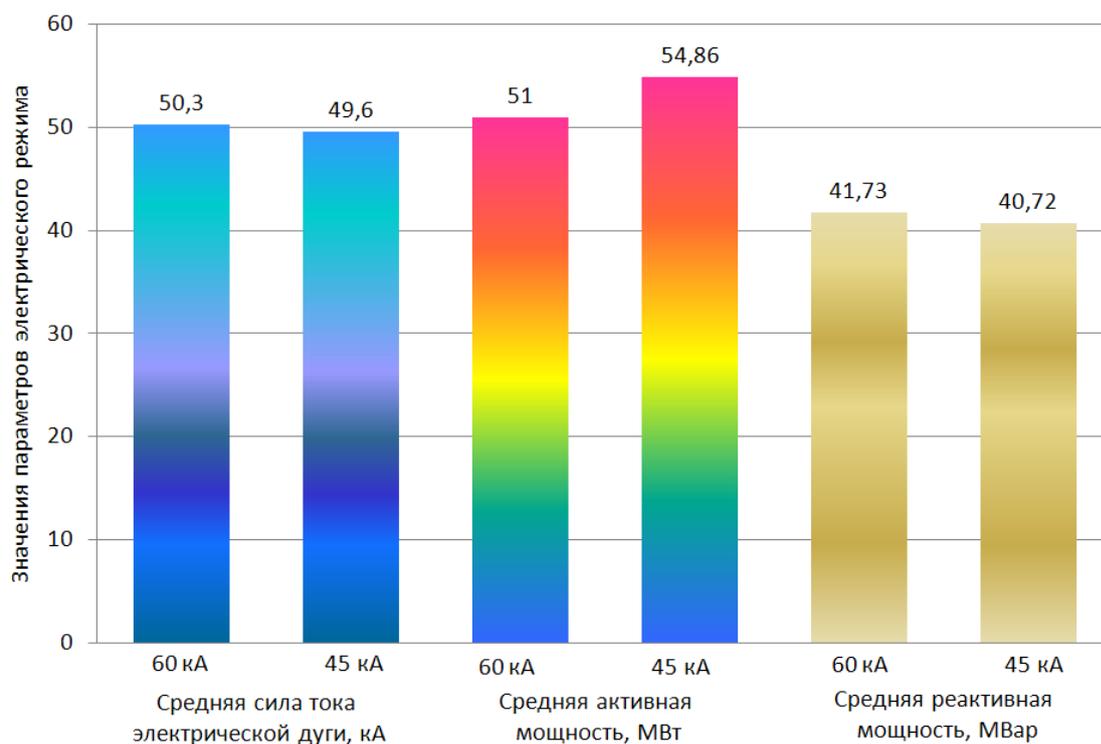


Рис. 1 – Параметры электрического режима при работе на различных токах в энергетический период [1]

Несмотря на то, что на этом рисунке сравниваются мощностные характеристики для двух токовых нагрузок – 45 и 60 кА средняя токовая нагрузка практически не отличается (50,3 и 49,6 кА). Большее значение при использовании тока 60 кА можно объяснить большими значениями токов коротких замыканий, которые приводят к потерям в электрической цепи.

Однако среднее значение активной мощности при силе тока 45 кА больше на 3,86 МВт, чем при использовании тока 60 кА.

В данной работе по аналогии с [1 - 3] выполнили расчеты изменения показателей работы ДСП – 150 при уменьшении тока дуги со средних значений в 68 кА (17 ступень – 65 – 68 кА, 18 ступень - 70 кА) до величины равной 58 кА, и соответственно, изменении индуктивное сопротивление с 3,5 до 5,5 мОм.

Регистрограмма токовой нагрузке при средней токовой нагрузке 68 кА приведена на рисунке 2 – для этого режима характерна нестабильность токовой нагрузки.

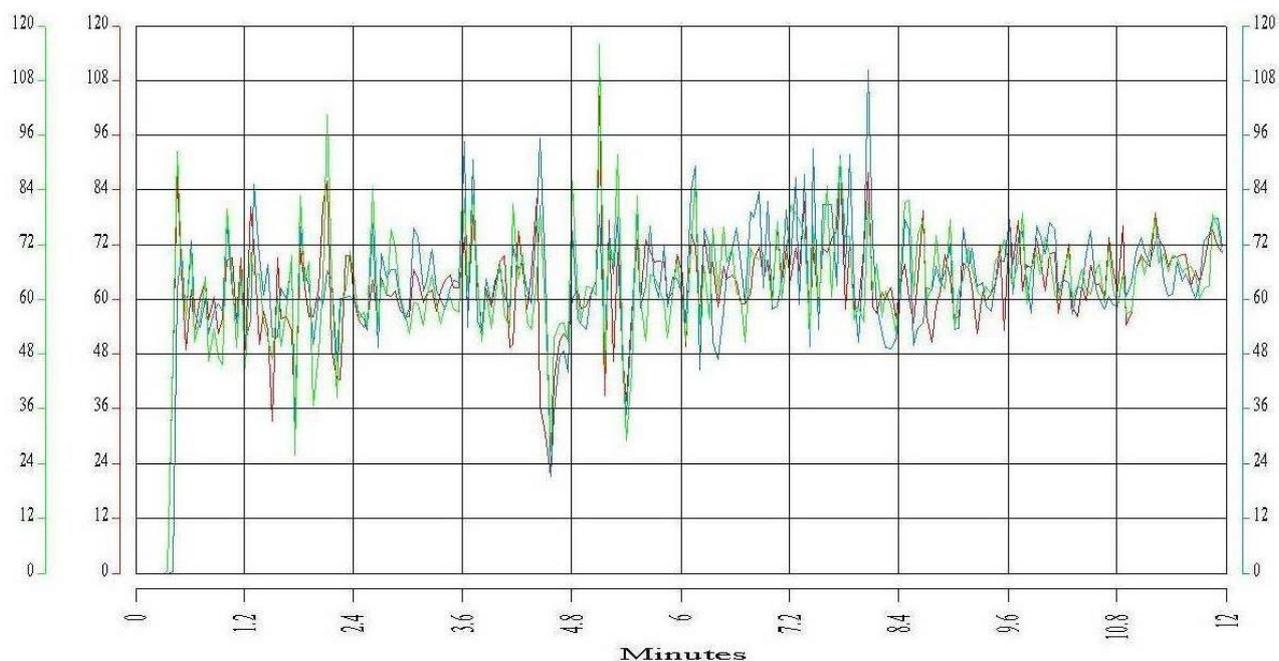


Рис. 2 – Изменение токовой нагрузки в энергетический период

Регистрограмма токовой нагрузки при плавлении лома на токе 58 кА будет выглядеть более компактно, не будет значительных бросков токовой нагрузки, что, несомненно, приведет к уменьшению удельного расхода электроэнергии в энергетический период.

По результатам обработки паспортов плавок средняя длительность периода расплавления составила около 11,1 минут, соответственно 7,6 % от этой длительности составит примерно 0,85 мин. Соответственно, при токе дуги 58 кА длительность периода расплавления составит примерно 10,25 мин.

Расчет изменения электрических потерь ($P_{эл}$, кВт) в цепи при изменении токовой нагрузки осуществляли по формуле (1):

$$P_{эл} = 3 \cdot I_d^2 \cdot R_a \quad (1)$$

где I_d - токовая нагрузка, кА, R_a - активное сопротивление, мОм.

Далее, полученное значение $P_{эл}$ переводили в удельный расход электроэнергии, затраченной на процесс расплавления завалки ($W_{уд.зав.}$, кВт·ч/т) в соответствии с выражением:

$$W_{уд.зав.} = (P_{эл} \cdot \tau_{расп.} \cdot 60 \cdot 0,0002778) / m_{зав.} \quad (2)$$

где $\tau_{расп.}$ - длительность периода расплавления, мин, кА, $m_{зав.}$ - масса завалки, т, 60 и 0,0002778 – переводные коэффициенты из мин в с и из кДж в кВт · ч.

Изменение производительности ДСП – 150 за счет уменьшения значения $\tau_{\text{расп.}}$ осуществляли по выражению:

$$P_{\text{ДСП-150}} = \frac{M_{\text{ст.ковш.}} \cdot 526600 \cdot (1 - N_{\text{пр}})}{\tau_{\text{пл}}} \quad (3)$$

где $M_{\text{ст.ковш.}}$ - средняя масса металла в стальковше, 526600 – число минут в году; $N_{\text{пр}}$ – норма простоев ДСП на ремонты; $\tau_{\text{пл}}$ – общая продолжительность плавки, мин.

Были получены следующие результаты:

- при среднем значении $m_{\text{зав.}} = 46,1$ т и неизменном активном сопротивлении цепи 0,4 мОм за счет изменения индуктивного сопротивления с 3,5 до 5,5 мОм и уменьшения токовой нагрузки с 68 до 58 кА средняя длительность $\tau_{\text{расп.}}$ может быть уменьшена на 1 мин;

- за счет уменьшения токовой нагрузки в период расплавления удельный расход электроэнергии за счет уменьшения потерь в короткой сети уменьшились на 7,93 кВт·ч/т.

- годовой объем производимой электростали в 4-х ДСП – 150 был увеличен на 39018,8 т/год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Острик, В.В. Разработка рациональных энергетических режимов плав-ления лома и металлизированных окатышей в дуговых сталеплавильных печах: автореферат диссертации кандидата техн. наук/ В.В. Острик. – М., 2004. – 20 с.
2. Влияние индуктивного сопротивления токопровода на потребление электроэнергии дуговыми сталеплавильными печами / Р.А. Макаров и др. // Электротехнология. - 2002. - №5. - С. 22-26
3. Снижение дисперсии токов электроснабжения дуговых сталеплавильных печей / А.Н. Макаров и др. // Известия Вузов. Черная металлургия. - 1999. - № 6. - С. 19-21
4. Система оптимального управления электрическим режимом дуговой печи, питаемой через регулируемый реактор / О.Ю. Лозинский и др. // Элек-тротехнология. - 2007. - №8. - С. 23-30

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ДСП

Сазонов А.В., Черменев Е.А., Понкратов Н.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
Россия, г. Старый Оскол
shiller82@mail.ru*

Аннотация. В статье представлены основные направления по оптимизации электрического режима в ДСП с целью достижения наилучших технико-экономических показателей

Ключевые слова: электрические параметры; зависимость; области перегибов на графических зависимостях; оптимизация; повышение эффективности.

ABOUT THE FEATURES OF OPTIMIZING THE ELECTRICAL MODE IN THE CHIPBOARD

Sazonov A.V., Chermeney E.A., Ponkratov N.V.

*Starooskolsky Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational
Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS"
Russia, Stary Oskol*

Abstract. The article presents the main directions for optimizing the electrical regime in chipboard in order to achieve the best technical and economic indicators

Keywords: electrical parameters; dependence; areas of kinks on graphical dependencies; optimization; efficiency improvement.

Современное электросталеплавильное производство характеризуется постоянным ростом производительности ДСП с целью повышения технико-экономических показателей, а также повышения качества получаемой металлопродукции. Разработка технических мероприятий и решений, направленных на снижение энергоемкости процесса электроплавки являются достаточно актуальными, в связи с тем, что в настоящее время происходит рост цен на шихтовые материалы и энергетические ресурсы (электрическая энергия, природный газ, добавочные материалы и др.).

Добиться уменьшения себестоимости готовой металлопродукции возможно различными путями (устанавливать более мощные печные трансформаторы, использовать топливно-кислородные горелки, использовать донную продувку инертным газом и др.) [1]. Одним из перспективных путей является оптимизация параметров электрического режима с целью достижения высоких показателей производства [2].

В начале XX века в связи с началом промышленного использования ДСП для выплавки стали начались исследования электрических параметров на технологические показатели работы. В этот период разработана теоретическая база по расчету параметров электрического режима, с целью выявления оптимальных параметров работы ДСП. На основе этих исследований разрабатывались технические рекомендации по расчету оптимальных электрических параметров с целью совершенствования тепловой работы ДСП. Особые заслуги в математическом описании методов расчета оптимальных параметров электрического режима принадлежат советским ученым – Тельному С.И., Ефроймовичу Ю.Е., Соколову А.Н [2,3]. По разработанным этими учеными методикам и в настоящее время рассчитываются параметры электрического режима для современных ДСП с целью выбора оптимальных.

В большинстве случаев определение оптимальных режимов сводится к тому, что на основе массива промышленных паспортов при эксплуатации конкретной ДСП (100 – 200 промышленных паспортов) рассчитываются фактические показатели работы ДСП с учетом текущих энергетических и технологических параметров по периодам электроплавки. При расчетах по такому методу не образуются плавные зависимости параметров электрического и технологического режимов, а имеются характерные области перегибов энерготехнологических и электрических параметров. В области этих перегибов и находятся оптимальные пределы электрических параметров, которые дают оптимальные показатели работы ДСП.

При проектировании и эксплуатации ДСП, в соответствии с данными [4], ставятся следующие основные задачи, которые схематически представлены на рисунке 1.



Рис. 1 – Задачи управления электрическим режимом ДСП

В последнее время развиваются методы имитационного моделирования электрического режима, с целью адекватного описания сложных электрических и технологических процессов, которые происходят в рабочем пространстве ДСП.

ДСП является очень сложным электротехническим комплексом в связи со своеобразной системой электропитания [5]: 1) печного трансформатора; 2) реактора; 3) системы автоматизированного регулирования; 4) систем стабилизации электрического режима (к примеру, за счет использования статических тиристорных компенсаторов (СТК)).

Перед металлургами ставится актуальная задача по поиску оптимальных электрических режимов с целью достижения высоких технико-экономических показателей производства.

При настройке систем автоматического регулирования ходом процесса электроплавки с целью оптимизации необходим анализ зависимостей параметров, которые, как правило, имеют характерные экстремумы.

Для ДСП основным управляющим параметром является ток дуги - I_d (кА), от значений которой зависят такие параметры электрического и технологического режима как активная мощность - P_a (МВт), мощность дуг - P_d (МВт), удельный расход электроэнергии - $W_{уд}$ (кВт·ч/т), а также себестоимость производимого полупродукта - C (руб./т) и производительность ДСП - G (т/ч).

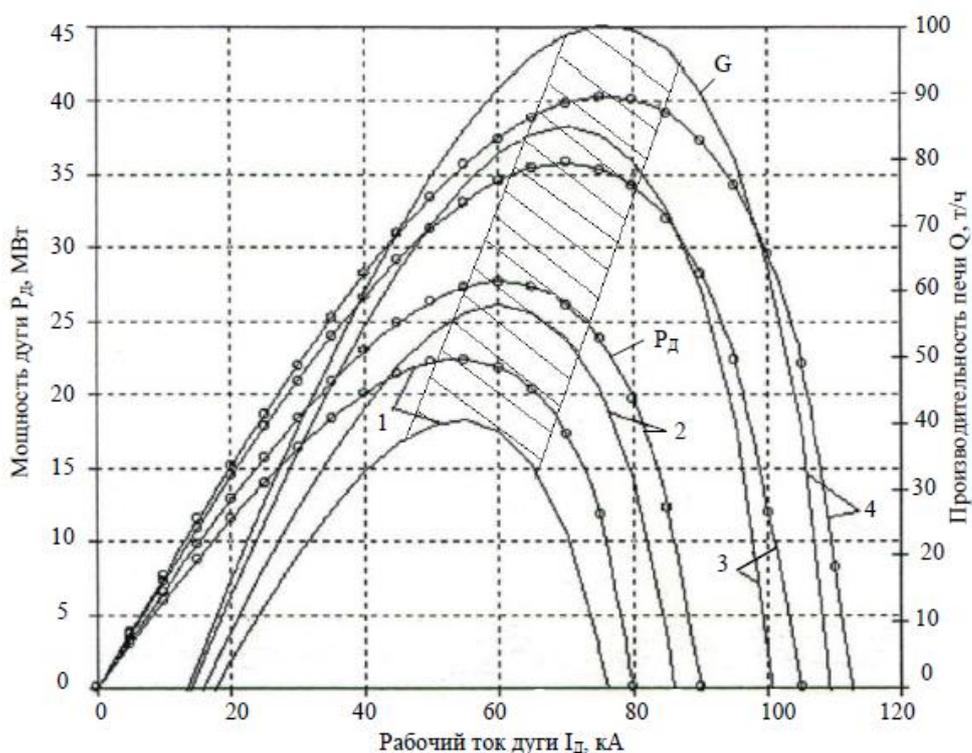
Все перечисленные параметры имеют экстремумы при построении их зависимостей от I_d . В качестве примера на рисунке 2 представлены зависимости G и P_d от I_d в соответствии с данными [6].

Наибольшее значение G соответствует максимальной мощности P_d , что показано заштрихованной областью. Однако, при этом возможно существенное снижение выхода годной стали за счет чрезмерно большой мощности электрических дуг.

Иногда при оптимизации электрического режима используется критерий по поиску минимального значения $W_{уд}$ в зависимости от P_d и I_d .

При этом максимальному значению P_d практически соответствует минимальное значение $W_{уд}$. Отклонение в значениях I_d составляет примерно 5 кА [7].

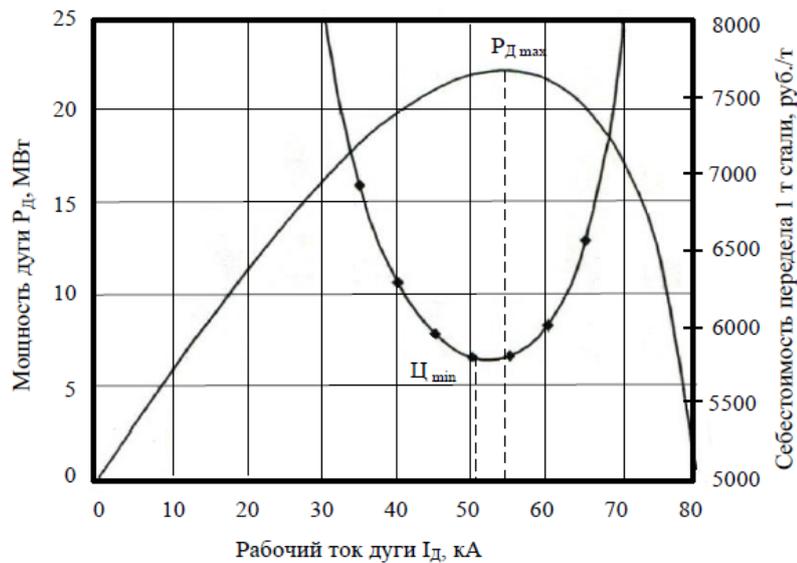
На рисунке 3 представлена зависимость P_d и значения ζ от I_d .



$$1 - U_{2л} = 1045 \text{ В}; 2 - U_{2л} = 1155 \text{ В}; 3 - U_{2л} = 1291 \text{ В};$$

$$4 - U_{2л} = 1345 \text{ В}; X_s = 3,5 \text{ МОм}; R_a = 0,5 \text{ МОм}$$

Рис. 2 – Изменение мощности дуг и часовой производительности для ДСП - 180 [6]



$$U_{2д} = 1045 \text{ В}; X_3 = 3,5 \text{ мОм}; R_a = 0,5 \text{ мОм}$$

Рис. 3 – Изменение мощности дуг и себестоимости для ДСП - 180 [6]

Зависимость также имеет характерные экстремумы, причем минимальное значение Π достигается практически при тех же значениях I_d , при которых значение $W_{уд}$ также имеет минимальное значение [6, 7].

Соответственно, максимальное значение G и наименьшие значения $W_{уд}$ и Π практически обеспечиваются при максимальных значениях P_d .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Гудим, Ю.А. Рациональные способы интенсификации плавки в современных дуговых сталеплавильных печах / Ю.А. Гудим // Вестник ЮУрГУ. Сер. Metallургия. – 2008. - №10. С. 10-13.
2. Парсункин, Б. Н. Автоматизация и оптимизация управления выплавкой стали в электродуговых печах: монография / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, О.С. Логунова. - Магнитогорск : Магнитогорск. гос. тех. ун-та, 2012. - 304 с.
3. Электрические промышленные печи: Дуговые печи и установки специального нагрева: учебник для вузов / А.Д. Свенчанский, И.Т. Жердев, А.М. Кручинин; Под ред. А.Д. Свенчанского. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1981. - 296 с.
4. Оптимизация электрических режимов сверхмощных дуговых сталеплавильных печей / А.А. Николаев и др. // Сталь. - 2014. - № 4. - С. 37-47

5. Особенности моделирования дуговой сталеплавильной печи как электротехнического комплекса / Г.П. Корнилов и др. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. - 2013. - № 1. - С. 76-82
6. Обоснование выбора критерия энергосберегающего управления электрическим режимом электродуговых технологических промышленных агрегатов / Б.Н. Парсункин и др. // Электromеталлургия. - 2014. - №6. - С. 2-9
7. Система оптимального управления электрическим режимом дуговой печи, питаемой через регулируемый реактор / О.Ю. Лозинский и др. // Электromеталлургия. - 2007. - №8. - С. 23-30

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛЕЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНА В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩЕГО ДЛЯ БРИКЕТОВ ИЗ ПОПУТНОЙ ПРОДУКЦИИ, С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Карамин А.В., Скляр В.А., Черменев Е.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Аннотация. Проведенные экспериментальные исследования показали, что использование клея на основе полиуретана в качестве связующего вещества позволяет повысить прочностные характеристики брикетов из попутной продукции (шлама) в сравнении с оригинальной технологией, где в качестве связующего используется цемент с добавкой бентонита. Превышение прочностных показателей составляет более чем в два раза.

Ключевые слова: цемент; бентонит; отходы металлургического производства; рациональное природопользование; брикеты; клей на основе полиуретана; холодное брикетирование; прочность.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING POLYURETHANE-BASED ADHESIVE AS A BINDER FOR BRIQUETTES FROM ASSOCIATED PRODUCTS, IN ORDER TO INCREASE THEIR STRENGTH CHARACTERISTICS

Karamin A.V., Skliar V.A., Chermenev E.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The conducted experimental studies have shown that the use of polyurethane-based adhesive as a binder makes it possible to increase the strength characteristics of briquettes from associated products (sludge) in comparison with the original technology, where cement with the addition of bentonite is used as a binder. The excess of strength indicators is more than twice.

Keywords: cement; bentonite; waste from metallurgical production; environmental management; briquettes; polyurethane-based glue; cold briquetting; strength.

Вовлечение в металлургическое производство попутной продукции в виде шлама является одним из основных направлений поисковых исследований, направленных как на

улучшение экологии, так и на увеличение экономической эффективности производства [1-4].

Одна из таких технологий утилизации заключается в холодном брикетировании. В качестве связующего и упрочняющего материала в оригинальной технологии используется цемент и добавка бентонита [5, 6]. Однако полученные брикеты не всегда соответствуют требованиям по прочности как в сыром, так и в высушенном виде [7]. Повысить прочностные характеристики брикетов путем использования клея на основе полиуретана.

В условиях кафедры ММ СТИ НИТУ «МИСИС» были проведены экспериментальные исследования по использованию клей Silaton на основе полиуретана в качестве связующего для изготовления брикетов из металлургического шлама.

Динамическая вязкость клея при температуре 23 °С составляет 5000 мПа·с. Плотность – 1,1г/см³ [8].

Процесс брикетирования происходил на прессе в специальной лабораторной цилиндрической форме, с усилием 700 кгс. Добавка связующего в шихту составляла 5 % от общей массы. Внешний вид брикетов из попутной продукции в виде шлама представлен на рисунке 1.

Сырые образцы подвергались сбросу с высоты 50 см на резинное основание и сжатию на боковую поверхность и торец. Усредненные результаты прочностных показателей сырых образцов с клеем на основе полиуретана и образцов с цементом с добавкой бентонита представлены в таблице 1.

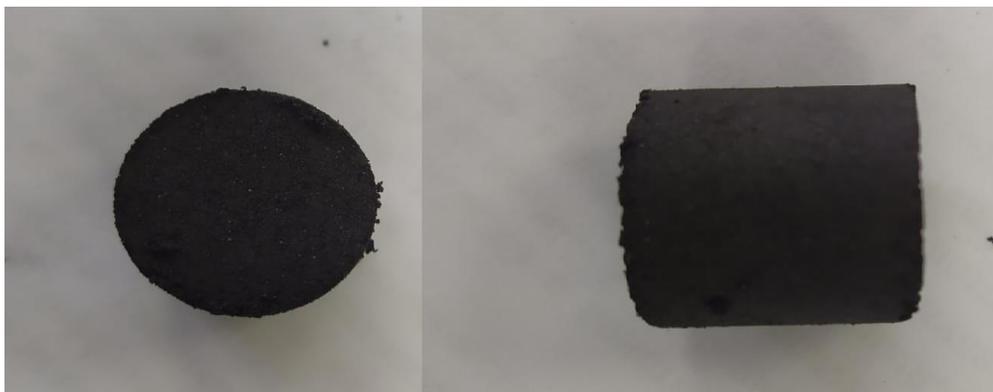


Рис. 1 – Внешний вид брикетов из попутной продукции в виде шлама

Из результатов таблицы 1 видим, что образцы с использованием клей Silaton на основе полиуретана обладают наиболее высокими прочностными характеристиками, чем образцы с использованием цемента с добавкой бентонита. Например, предельная сила сжатия на боковую на торец брикета образцов с полиуретановым клеем выше в 4 раза образцов с цементом, результаты сжатия на боковую поверхность отображают такую же

тенденцию.

Таблица 1 – Результаты прочностных показателей сырых образцов

Прочностной показатель	Связующее	
	Клей Silaton	Цемент с добавкой бентонита
Сброс сырых с 0,5м, количество	>30	8
Предельная сила сжатия на торец, кгс	10	2,5
Предельная сила сжатия на боковую поверхность, кгс	3,1	1,1

Сырые образцы также подвергались естественной сушке при комнатной температуре (+ 25 °С) в течении суток.

Усредненные результаты прочностных показателей высушенных образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты прочностных показателей высушенных образцов

Прочностной показатель	Связующее	
	Клей Silaton	Цемент с добавкой бентонита
Сброс с высоты 2 м, количество	>20	4
Предельная сила сжатия на торец, кгс	503,667	187,789
Предельная сила сжатия на боковую поверхность, кгс	>250	94,47

Рассмотрев прочностные результаты высушенных образцов, видим, что брикеты с использованием клей Silaton на основе полиуретана показывают высокие показатели по прочности. Образцы с полиуретановым клеем выдерживают падение с двух метров на металлическое основание более 20 раз. В то время как образцы с цементом выдержали не более 4 раз. Превышение составляет в 5 раз. По показателям по сжатию наблюдается такая же тенденция.

Таким образом, в заключении стоит сказать, что использование клея на основе полиуретана Silaton в качестве связующего для брикетов из попутной продукции в виде шлама способно повысить прочностные характеристики брикетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Карамин А.В., Ермоленко К.А. Анализ путей переработки шламов

металлизации / А.В. Кармин, К.А Ермоленко, А.Х. Шарипов // Сборник научных трудов XXI конференции студентов и аспирантов. 2023 – Текст: непосредственный

2. Воропаев Е.М., Борисов В.М. Использование пылей и шламов металлургических заводов в агломерационном производстве // “Черная металлургия”. №1, 1980. - С. 13-14.

3. Курунов, И. Ф. Исследование металлургических свойств брикетов из техногенного и природного сырья и оценка эффективности их применения в доменной плавке / И. Ф. Курунов, Э. М. Щеглов, В. Л. Емельянов [и др.] // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». – 2008. – № 1. – С. 8-16.

4. Курунов, И. Ф. Опыт промывки горна доменных печей брикетами из окалины / И. Ф. Курунов, Э. М. Щеглов [и др.] // Металлург. – 2007. - № 6 – С. 36-39.

5. Скляр, В. А. Подбор связующих материалов для экструзионных брикетов из отходов металлургического производства / В. А. Скляр, А. В. Карамин // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство : материалы восемнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Старый Оскол, 17 декабря 2021 года. Том II. – Старый Оскол: Старооскольский технологический институт (филиал) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", 2021. – С. 517-522.

6. Карамин, А. В. Анализ возможности использования крахмала в качестве связующего материала для брикетов из отходов металлургического производства / А. В. Карамин, В. А. Скляр, Е. А. Черменев // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство : Материалы девятнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Старый Оскол, 07 декабря 2022 года. – Старый Оскол: Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", 2023. – С. 23-28.

7. Карамин, А. В. Исследование влияния вакуумирования на прочность экструзионных брикетов из отходов металлургических производств / А. В. Карамин, В. А. Скляр, Е. А. Черменев // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство : Материалы XX всероссийской научно-практической конференции, Старый Оскол, 21 декабря 2023 года. – Старый Оскол: Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", 2024. – С. 39-44.

8. Описание клея Silaton на основе полиуретана [Электронный ресурс] // URL: <https://germet.pro/stati/chto-takoe-poliuretanovuj-klej> (Дата обращения 14.11.2024).

УДК 669.09

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ И РАБОТЫ ДЕФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССАХ ПРОКАТКИ

Скляр В.А., Акрамов Д.Б., Часовских Д.В.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
konfor1@yandex.ru

Аннотация. С использованием предложенного коэффициента полезного действия формоизменения оценен процесс прокатки круглого проката диаметром 40 мм на сортопрокатном стане 350. Показано, что с точки зрения энергоэффективности, выгоднее прокатывать такой прокат в среднесортной линии стана, а не в мелкосортной.

Ключевые слова: работа прокатки; чистая деформация; КПД деформации; показатель КПД формоизменения; работа трения; сопротивление деформации.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF SHAPING AND DEFORMATION WORK IN ROLLING PROCESSES

Skliar V.A., Akramov D.B., Chasovskikh D.V.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. Using the proposed coefficient of efficiency of shaping, the rolling process of round rolled products with a diameter of 40 mm on a rolling mill 350 was evaluated. It is shown that from the point of view of energy efficiency, it is more profitable to roll such rolled products in a medium-grade mill line, rather than in a small-grade one.

Keywords: rolling work; net deformation; deformation efficiency; shaping efficiency index; friction work; deformation resistance.

Введение

Особенность существующей практики состоит в том, что для прокатки простого профиля (круг, квадрат и др.) существуют целый ряд типов калибровок, причем при выборе того или иного варианта руководствуются, как правило, знаниями, далекими от энергосбережения [1-2]. В свою очередь, разработка метода определения коэффициента

полезного действия (КПД) формоизменения позволяет оценить существующий арсенал типичных калибровок различных профилей с точки зрения энергосбережения [3-4].

Цель работы – на основе метода оценки эффективности формоизменения в процессах обработки металлов давлением произвести анализ эффективности формоизменения при прокатке круга диаметром 40 мм на стане 350 АО «ОЭМК им. А.А. Угарова».

Методика проведения исследования

Существующие критерии оценки эффективности достаточно сложны. Например, известный ранее коэффициент формоизменения f_l подразумевает вычерчивание калибра и нахождение площадей, идущих на высотное обжатие и уширение. Нами же предложено рассматривать процесс деформации в классическом понимании коэффициента полезного действия как отношения работы, идущей на вытяжку к общей работе, затраченной на вытяжку и уширение.

Оценочный показатель коэффициент полезного действия формоизменения вводится для возможности оценки чистой деформации в направлении прокатки.

Наиболее подходящей для определения работы деформации в двух направлениях, то есть при прокатке простого профиля является формула Финка.

Работа на вытяжку и уширение в этом случае равна (приложение В):

$$A_1 = p \cdot V \cdot \ln \frac{l}{L} + p \cdot V \cdot \ln \frac{b}{B}, \quad (1)$$

где p – давление металла на валок, Н/м²;

V – смещенный объем, м³;

L, l – длина полосы до и после пропуска, м;

B, b – начальная и конечная ширина, м.

Коэффициент полезного действия формоизменения η_Φ будет равняться отношению работы чистой деформации, израсходованной на вытяжку, к полной работе, израсходованной на вытяжку и уширение [5]:

$$\eta_\Phi = \frac{p \cdot V \cdot \ln \frac{l}{L}}{p \cdot V \cdot \ln \frac{l}{L} + p \cdot V \cdot \ln \frac{b}{B}} = \frac{\ln \frac{l}{L}}{\ln \frac{l}{L} + \ln \frac{b}{B}} = \frac{\ln \frac{l}{L}}{\ln \frac{l \cdot b}{L \cdot B}} = \frac{\ln \frac{l}{L}}{\ln \frac{H}{h}} = \frac{\ln \lambda}{\ln \gamma}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент вытяжки;

γ – коэффициент обжатия.

Анализируя полученную формулу КПД формоизменения η_f в простых калибрах, в граничных случаях будем наблюдать следующее:

- 1) если $b \rightarrow B$ (т.е. уширение отсутствует), тогда $p \cdot V \cdot \ln \frac{b}{B} \rightarrow 0$, а $\eta_f \rightarrow 1$ или 100 %;
- 2) если $l \rightarrow L$ (т.е. вытяжка отсутствует), тогда $p \cdot V \cdot \ln \frac{l}{L} \rightarrow 0$, а $\eta_f \rightarrow 0$.

Таким образом, показатель η_f характеризует эффективность формоизменения и будет определяться как отношение логарифма коэффициента вытяжки к логарифму высотного обжатия.

Результаты и их обсуждение

Данный коэффициент полезного действия формоизменения η_f использовался для оценки калибровок стана 350 АО "ОЭМК им. А.А. Угарова" где прокатка круга диаметром 40 мм возможна как в мелкосортной, так и в среднесортной линии стана.

Сравнительный анализ калибровок обеих линий с точки зрения КПД деформации приведен на рис. 1.

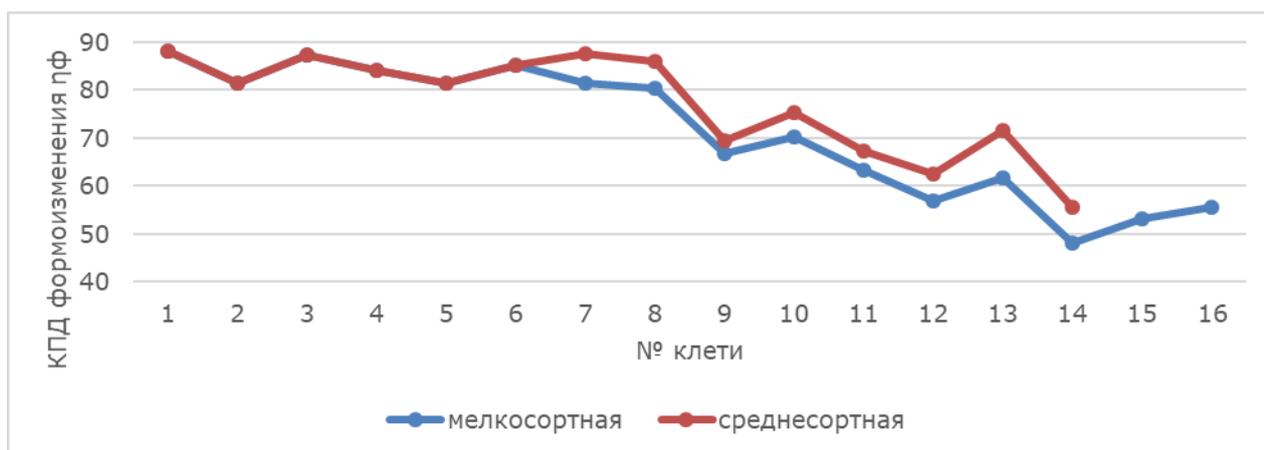


Рис. 1 – Распределение показателей формоизменения по клетям стана 350 АО «ОЭМК им. А.А. Угарова»

Как видим прокатка в среднесортной линии обладает лучшими показателями КПД формоизменения, где он в среднем на 5,8 % больше чем в мелкосортной. Таким образом, с точки зрения энергозатрат, выгоднее прокатывать круг 40 в среднесортной линии.

Аналогично и результаты расчета энергосилового режима прокатки показывают снижение энергосиловых параметров на 7,5% (рис. 2). Видно, что сила прокатки в нескольких клетях меньше чем при прокатке в мелкосортной группе, при этом в среднесортной группе выполняется на два прохода меньше.

Технико-экономические показатели проекта показывают, что снижение расхода электроэнергии на прокатку на 7,5% приведет к снижению себестоимости проката на 12,38 руб. NPV проекта, руб. - 866 702 руб. Срок окупаемости 2 года.

Таким образом, по результатам работы можно сделать выводы целесообразности применения предложенного критерия для анализа энергоэффективности разных калибровок.



Рис. 2 – Энергосиловые параметры прокатки круга диаметром 40 мм на стане 350 АО «ОЭМК им. А.А. Угарова»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Smyrnov, Y. Investigation of plastic properties of $\varnothing 8$ rod made of fire-refined copper of kmor grade / Y. Smyrnov, V. Skliar, A. Gorozhankin // Materials Science Forum. – 2020. – Vol. 989. – P. 665-670.
2. Смирнов, Е. Н. Конструктивный аспект возможности организации прокатки качественных марок стали с петлей охлаждения и выравнивания температуры в условиях типового сортового непрерывного стана / Е. Н. Смирнов, В. А. Скляр, В. А. Скляр // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство СТИ НИТУ "МИСиС", 2015. – С. 224.
3. Тарновский, И. Я. Теория обработки металлов давлением / И. Я. Тарновский, А. А. Поздеев, О. А. Ганаго. - М.: Гос. Научно-техническое издательство литературы по черной металлургии, 1963. – 673 с.
4. Хензель, А. Оптимизация расхода в процессах деформации / А. Хензель, Т. Шпиттель. – М.: «Металлургия», 1985. - 184 с.
5. Кашаев, В. М. Разработка теоретических основ формоизменения и энергетических затрат при оценке коэффициента полезного действия деформации / В. М. Кашаев, А. В. Хохлов. – Донецк: ДонНТУ, 2004. – 84 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОРАБОТКИ СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛИТКОВ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Скляр В.А., Дерусов А.И.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
konfor1@yandex.ru*

Аннотация. В работе исследован процесс уплотнения литой макроструктуры слитка с использованием метода измерения электросопротивления. Выданы рекомендации по применению различных схем прокатки для повышения степени проработки литой структуры слитка.

Ключевые слова: прокатка; электросопротивление; физическое моделирование; макроструктура металла; пористость; пластическая деформация.

STUDY OF THE WORKING OF THE STRUCTURE OF CONTINUOUS CAST INGOTS DURING PLASTIC DEFORMATION

Skliar V.A., Derusov A.I.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The paper investigates the process of compaction of the cast macrostructure of an ingot using the method of measuring electrical resistance. Recommendations have been issued on the use of various rolling schemes to increase the degree of elaboration of the cast ingot structure.

Keywords: rolling; electrical resistance; physical modeling; metal macrostructure; porosity; plastic deformation.

Введение

В современной металлургии важное значение приобретает исследование процессов, происходящих при пластической деформации непрерывнолитых слитков. Это обусловлено стремлением улучшить качество металлопродукции и оптимизировать технологические процессы. Непрерывное литье слитков является одним из ключевых этапов производства, влияющим на структуру и свойства металла [1]. Пластическая деформация, в свою очередь,

позволяет управлять этими параметрами, обеспечивая необходимые характеристики готовой продукции.

При исследовании процесса прокатки непрерывнолитых слитков в обжимных(черновых)клетях сортовых станов предпочтение отдается физическим методам моделирования из-за сложности математического описания процессов обработки давлением металла, имеющего осевую пористость и несплошности [2-3].

Разработка нового способа физического моделирования была вызвана необходимостью избежать недостатков известных способов оценки качества проработки структуры непрерывнолитых слитков [4].

Целью данной работы является комплексное исследование процесса проработки структуры непрерывнолитых слитков при их пластической деформации с помощью метода измерения электросопротивления в процессе деформации.

Методика проведения исследования

Для изучения особенностей деформирования непрерывнолитых слитков был использован способ физического моделирования, в котором в качестве базовой была принята следующая гипотеза: зависимость величины осевой пористости и усадочной ликвации от суммарной степени деформации в непрерывнолитых слитках носит экспоненциальный характер, т.е. существует критическая величина суммарной степени деформации, после достижения которой изменения осевой пористости и усадочной ликвации практически не наблюдаются.

В практике исследования свойств металлов было обнаружено, что экспоненциальный характер с выраженной границей насыщения носит зависимость удельного сопротивления материала ρ от его пористости [5]. Поэтому в основу разрабатываемого способа моделирования был положен именно этот параметр.

В этом случае за задачу приняли совершенствование способа физического моделирования процесса проработки структуры в непрерывнолитых слитках при пластической деформации за счет применения электронного метода оценки макроструктурного состояния слитков, как в процессе приложения деформации, так и после, появляется возможность повышения точности экспериментальных данных, особенно в части оценки динамических составляющих процесса.

Поставленная задача достигалась следующим:

- 1) отливка свинцовых модельных образцов;
- 2) пластическую деформацию осуществляют на гладкой бочке по реверсивной схеме;
- 3) до и после прокатки выполняют снятие измерений удельного сопротивления модельных образцов между концами задаваемого раската.

Так же следует отметить, что принципиальным моментом является тот факт, что свинец имеет экспоненциальный характер зависимости удельного сопротивления материала ρ от его пористости с выраженной границей насыщения, что хорошо коррелирует с принятой гипотезой разрабатываемого способа моделирования.

Осуществление пластической деформации на гладкой бочке по реверсивной схеме применительно к прокатке непрерывнолитых заготовок представляется рациональным, поскольку изменение направления прокатки после каждого прохода будет приводить к более интенсивному дроблению дендритной структуры.

При выборе схемы измерения электрического сопротивления во время прокатки руководствовались двумя основными вариантами, каждый из которых имел свои преимущества и недостатки.

На рис. 1 приведена принципиальная схема измерения электрического сопротивления при прокатке модельных образцов.

При реализации первого варианта, отвечающего в наибольшей степени принципам физического подобия, измерение электрического сопротивления R производилось между началом и концом прокатываемого образца. Обработка полученных данных указала на главный недостаток этой схемы измерения, а именно, малая величина сигнала, поступающего на осциллограф, даже при максимальных обжатиях (отклонение шлейфа $\leq 3-4$ мм по длине образца).

Для увеличения сигнала на входе осциллографа, как минимум в 2-3 раза, рекомендуется второй вариант схемы измерения, предусматривающий измерение сопротивления между концом задаваемого раската и очагом деформации.

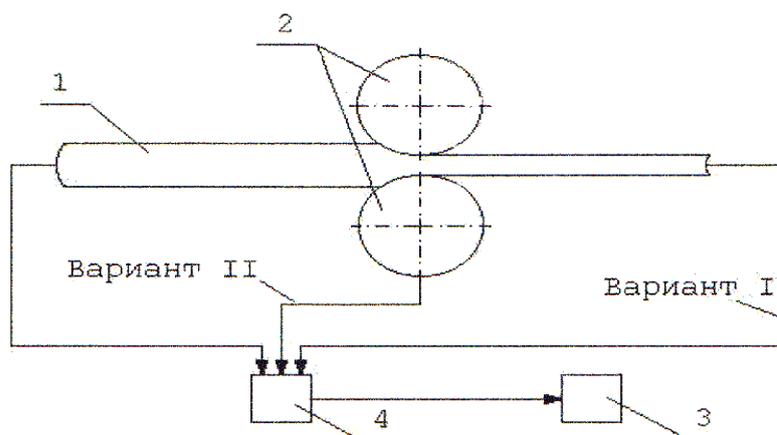


Рис. 1 – Принципиальная схема измерения электрического сопротивления R моделирующих образцов во время прокатки

1- прокатанная полоса; 2 - валки; 3 - осциллограф; 4 - мост постоянного тока

Для реализации была выбрана первая схема измерений.

Исследовалось 7 разных режимов деформации, отличающихся последовательностью кантовок и распределением относительных обжатий.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим, как изменяется удельное сопротивление образца по проходам по режиму обжатия №1. (рис. 2)

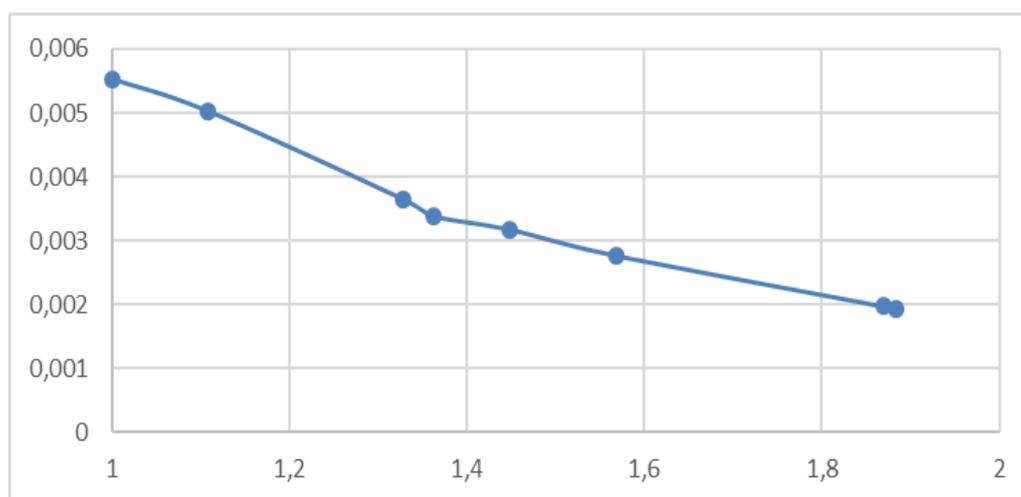


Рис. 2 – Зависимость удельного сопротивления образца от вытяжки (режим обжатия №1)

Как видим, удельное сопротивление образца монотонно и практически линейно снижается по проходам.

Коэффициент эффективности для каждой прокатки найдем по формуле:

$$K = \frac{\Delta r_0}{\lambda}$$

где Δr_0 – относительное изменение удельного сопротивления за проход;

λ – коэффициент вытяжки.

Рассмотрим эффективность каждой схемы в отдельности. Суммарный коэффициент эффективности сокращения пористости представлен на рис. 3.

Как видим из рис 3, наиболее эффективными оказались схемы прокатки 7 и 1.

Схема №7 предполагает три прохода с переменным обжатием, затем кантовку и снова три прохода. Данный подход, как мы видим, оказался максимально эффективным.

Схема №1 предполагает два прохода с переменным обжатием, затем кантовку и снова два прохода, затем опять кантовку и два прохода. Данный подход как мы видим оказался менее эффективным, но все равно превосходит другие схемы.

Схемы же с частой кантовкой № 4 и № 6 в которых кантовка производилась после каждого прохода, оказались наименее эффективными.

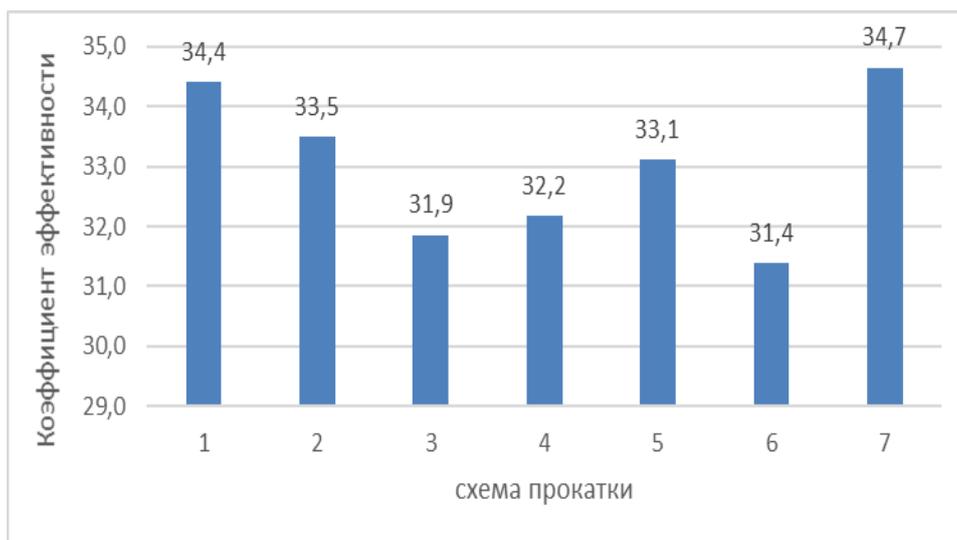


Рис. 3 – Эффективность различных схем прокатки

К таким же относится и схема № 3 где в каждом проходе давалось одинаковое обжатие.

Схемы № 5 и № 2 являются аналогами схем №1 и №7, но в них обжатие по проходам было одинаковым, а не переменным.

Вывод. Таким образом при составлении схем прокатки и режимов обжатий предпочтение следует отдавать схемам прокатки с минимальным количеством кантовок, а также давать максимальные обжатия в первом проходе, с последующим их уменьшением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Жучков С.М., Стеблов А.Б. Применение косвенных методов контроля качества непрерывнолитых сортовых заготовок. - "Сталь", №10, 2002г. - с.61-63.
2. Smyrnov, Y. Application of numerical model of continuous cast bloom crystallization to improve the efficiency of mechanical soft reduction technology / Y. Smyrnov, V. Skliar, V. Belevitin // Materials Science Forum. – 2019. – Vol. 946. – P. 684-689. – DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.946.684.
3. Исследование влияния комбинированного деформационного воздействия на формоизменение кристаллизующейся сортовой заготовки с использованием физической модели / Е. Н. Смирнов, В. А. Скляр, Д. И. Богадевич [и др.] // Технология металлов. – 2019. – № 4. – С. 2-11. – DOI 10.31044/1684-2499-2019-4-0-2-11. – EDN VZUWER.
4. Аспекты физического моделирования процесса обжатия в жидко-твердом состоянии и прокатки непрерывнолитых блюмов. Смирнов Е.Н, Слугин А.А., Демидова И.А.

– Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов международной научно-технической конференции в г.Севастополе 13-18 сентября 2004 г. В 4-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2004. Т.3. – с.124-131.

5. Оценка пластических свойств стали для стержневых изделий методом электрического сопротивления. Герасимов В.Я., Третьяков А.П. - "Сталь".- 2003.-№3.-с.53-54.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА СНИЖЕНИЯ ОБРЕЗИ ПРИ ПРОКАТКЕ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ

Скляр В.А., Елисеев Д.Н., Елисеева Е.Ю.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
konfor1@yandex.ru

Аннотация. *С использованием экспериментальных методов, исследован способ перекоса верхнего валка на угол с различными параметрами относительного обжатия по сравнению с обычным методом прокатки. Показано, что использование метода перекоса верхнего валка на угол приводит к повышению выхода годного по сравнению с обычным методом прокатки на 2,8 %.*

Ключевые слова: прокатка; толстый лист; форма раската в плане; выход годного; обрезь.

INVESTIGATION OF THE METHOD OF REDUCING TRIMM IN SHEETS ROLLING

Skliar V.A., Eliseev D.N., Eliseeva E.Yu.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. *Using experimental methods, the method of skewing the upper roll at an angle with different relative deformation parameters compared with the conventional rolling method has been investigated. It is shown that the use of the method of skewing the upper roll by an angle leads to an increase in the yield of the suitable one compared with the conventional rolling method by 2.8%.*

Keywords: rolling; thick sheet; rolling shape in plan; yield; trim.

Введение

В связи с тем, что проблема экономии металла в настоящее время не теряет свою актуальность, особое внимание уделяется разработке новых и совершенствованию применяемых способов и технологических режимов прокатки, использование которых способствует уменьшению расхода металла и повышению выхода годного. При прокатке

толстолистового проката повышения выхода годного добиваются разными путями, основной из которых предусматривает устранение разнотолщинности по длине листа, краевой и центральной волнистости, а также получение заданного профиля листа и прямоугольной формы поверхности [1-4].

Цель работы – экспериментальное исследование способов прокатки толстых листов, обеспечивающих повышенный выход годного проката, с использованием физического моделирования.

Методика проведения исследования

Для исследования был выбран способ прокатки толстых листов с перекосом верхнего валка на угол (рис. 1).

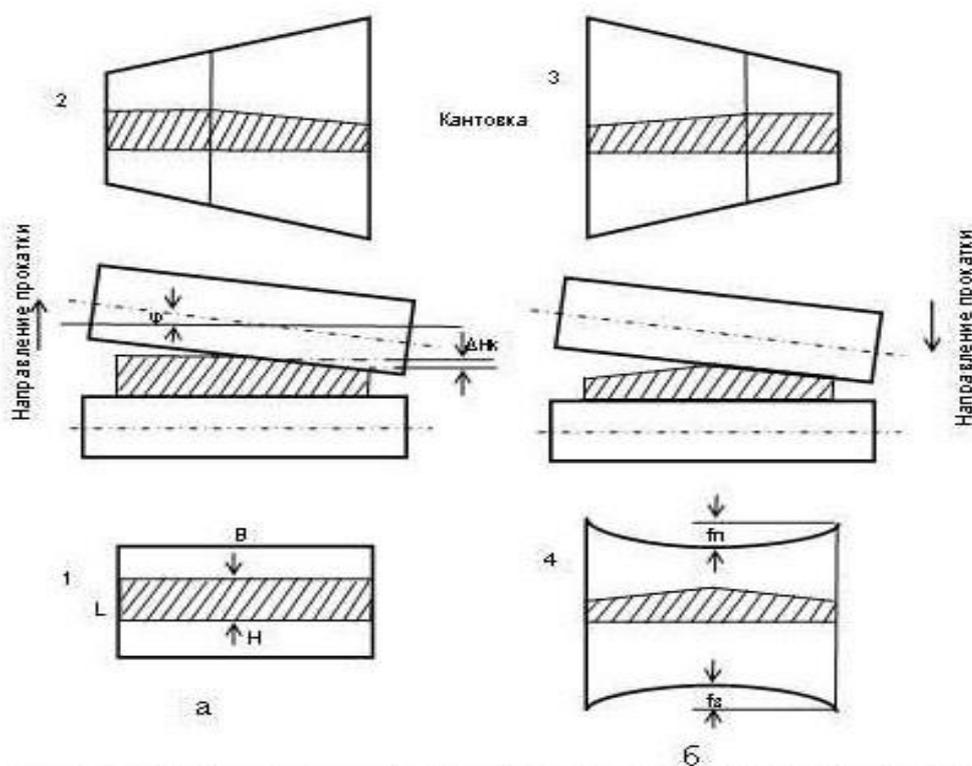


Рис. 1 – Влияние перекоса верхнего валка на форму поперечного сечения и концов раската в двух смежных реверсивных проходах

В первом проходе исходный прямоугольный сляб 1 обжимают в перекошенных валках только по одной кромке на определенной части ширины и получают раскат 2 с косыми концами неравномерного поперечного сечения (рис. 1, а) [1].

После кантовки на 90° в обратном проходе раскат 3 обжимают в перекошенных валках по второй кромке и на выходе из валков получают раскат 4 с вогнутыми концами величиной f_n и f_z (рис. 1, б). В последующих проходах без перекоса валков вогнутые концы трансформируются в прямоугольные.

В работе было проведено исследование по влиянию основных факторов на параметры формы концов раскатов, прокатанных с перекосом верхнего валка с разными относительными обжатиями на передней и задней части образцов и сравнение с методом обычной прокатки.

В качестве параметров формоизменения раскатов в плане выбрали теоретическое значения площадей, вписывающихся в ширину и толщину готового проката. Также определяли массу обрезки, что является более точным с нашей точки зрения.

Для проведения научно-исследовательской работы использовалась модель прокатного стана 5Л.00.00.00, в качестве моделирующего материала – пластилин. Режим обжатий образцов приведен в таблице 1. Значения обжатий, полученных путем перекоса валков, в таблице 2.

Таблица 1 – Режим обжатий

№ прохода	Δh , мм	h, мм	b, мм	l, мм
0		17	53	75
1	3	14	53,5	102
2	2	12	54	102,5
3	2	10	54,5	103
4	2	8	80	
5	1,5	6,5	80	
6	1,5	5	80	
7	1	4	80	211

Таблица 2 – План эксперимента

№ режима	$\Delta h_{п}$, мм	h_3 , мм
1	0,4	0,4
2	0,8	0,4
3	1,2	0,4
4	0,4	0,8
5	0,8	0,8
6	1,2	0,8
7	0,4	1,2
8	0,8	1,2
9	1,2	1,2
10	0	0

Результаты и их обсуждение

Изображение образцов после прокатки приведено на рис. 2.

Результаты прокатки модельных образцов по 10 разным режимам обжатий приведены на рис. 3.



Рис. 2 – Вид образца № 8 после прокатки

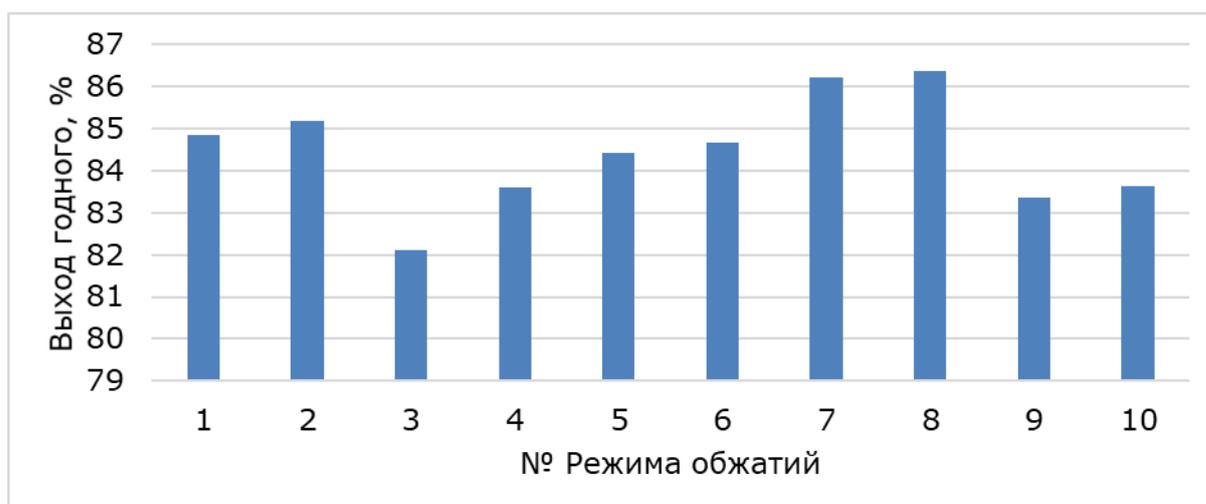


Рис. 3 – Выход годного при разных режимах обжатия

Как видно из рис. 3 наибольший выход годного (86,4 %) наблюдался по режиму прокатки №8 при следующих параметрах относительного обжатия переднего и заднего концов сляба (перекоса валков): $\Delta h_{\text{п}} = 0,8$ мм, $\Delta h_{\text{з}} = 1,2$ мм.

Таким образом можно сделать вывод, что метод прокатки с перекосом верхнего валка на угол характеризуется большим выходом годного по сравнению со стандартным режимом прокатки на 2,8 %. Что говорит о целесообразности его использования при наличии технической возможности осуществлять перекос валков стана в процессе прокатки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Сафьян М.М., Чернер М.И. Исследование закономерностей перехода боковых граней слябов на поверхности контакта при прокатке толстых листов // Обработка металлов давлением: Сб. науч. тр. М.: Металлургия, 1967. Вып. 53. с. 185-194.

2. Руденко, Е.А. Исследование параметров формоизменения слябов после обжатия в гладких и калиброванных вертикальных валках / Е.А. Руденко, Ю.В. Коновалов, М.О. Фролова // Обработка металлов давлением: Сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2012. – №3. – С. 160–163.

3. Руденко, Е.А. Методика расчета фабрикации для условий проектируемых и реконструируемых толстолистовых станов / Е.А. Руденко, Л.А. Курдюкова // Обработка металлов давлением: Сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2011. – №2. – С. 120–125.

4. Сквозная оценка качества непрерывнолитых слябов и горячекатаного листового проката партий корабельной поставки / Е. Н. Смирнов, А. Н. Смирнов, В. А. Складар [и др.] // Сталь. – 2020. – № 11. – С. 55-60.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ ЗАГОТОВКИ ВО ВРЕМЯ КОВКИ С ЦЕЛЬЮ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ МАКРОСТРУКТУРЫ

Скляр В.А., Жихарев В.П.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
konfor1@yandex.ru

Аннотация. В работе проведены теоретические исследования различных методов протяжки стали. Исследован процесс протяжки стальных и пластилиновых образцов. Проведены исследования микроструктуры стали 20Х, и её изменений при различных способах кузнечной протяжки. Выданы рекомендации по применению различных способов протяжки для повышения степени проработки литой структуры слитка.

Ключевые слова: свободная ковка; протяжка; конструкционные стали; макроструктура материала; дефекты при ковке; пластическая деформация.

INVESTIGATION OF THE DEFORMATION PROCESS OF BILLET DURING FORGING IN ORDER TO ELIMINATE DEFECTS OF MACROSTRUCTURE

Skliar V.A., Zhikharev V.P.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. Theoretical studies of various methods of steel broaching have been carried out in the work. The process of broaching steel and plasticine samples is investigated. Studies of the microstructure of 20X steel and its changes in various forging methods have been carried out. Recommendations have been issued on the use of various broaching methods to increase the degree of elaboration of the cast ingot structure.

Keywords: free forging; broaching; structural steels; macrostructure of the material; defects in forging; plastic deformation.

Введение

В машиностроении, давно назревает проблема получения качественных заготовок. В некоторых случаях заготовки, такие как слитки, слябы, сортовой прокат и др., попадающие

на кузнечно-прессовые операции могут изначально оказаться с браком [1-3]. Однако не редкие случаи возникновения брака в процессе получения заготовки при помощи ковки, что негативно сказывается на выпускаемые изделия [4, 5].

В настоящее время особенно остро стоит проблема снижения себестоимости производства без потери качества. Это связано с ограничением доступа к мировому рынку и необходимостью сохранения темпов производства. Попытки снизить стоимость продукции путем ухудшения ее качества могут привести к экономии на качестве [6, 7].

Для сохранения высокого уровня качества выпускаемой продукции важно всегда исследовать различные методы получения заготовок, включая свободную ковку. С помощью ковки возможно получать поковки, которые затем используются для создания различных деталей машин. Процесс ковки значительно улучшает структуру металла, устраняя дефекты литья, такие как поры и раковины.

В рамках этой работы будут изучены различные методы ковки, включая протяжку заготовок, а так же определены, как они могут улучшить структуру и свойства сталей.

Цель работы – исследовать влияние различных способов протяжки заготовки на макроструктуру металла.

Методика проведения исследования

Для исследования влияния способов ковки на ли на проработку литой структуры были подготовлены 12 образцов из пластилина круглого сечения, которые в дальнейшем использовались для перековки в заготовки квадратного сечения.

Таким образом образец представлял собой модель круглого слитка, состоящего из трех слоев разного цвета. Различие цветов обусловлено исследованием внутренней структуры слитка в различных слоях образца.

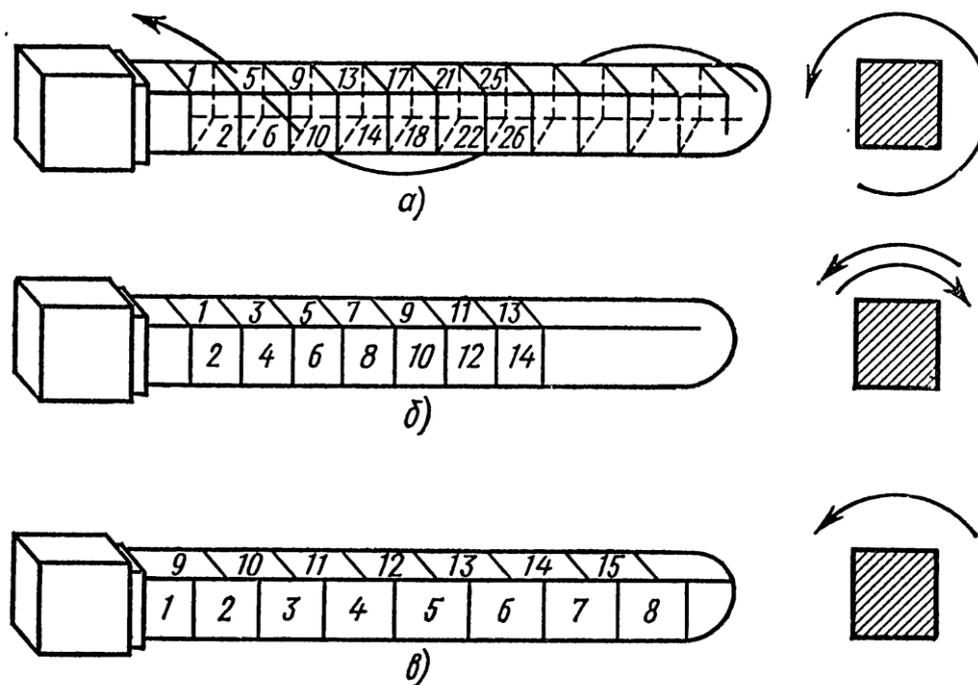


Рис. 1 – Методы протяжки

Данные образцы в дальнейшем были перекованы из круглого сечения в квадратное с использованием трех схем протяжки (рис. 1), таких как схема «а» - кантовка четырех сторон, затем подача; схема «б» - кантовка двух сторон, затем подача; схема «в» - полный проход по одной стороне, затем кантовка и снова полный проход.

Результаты и их обсуждение

Изображение образцов после ковки по всем трем схемам приведено на рис. 2.

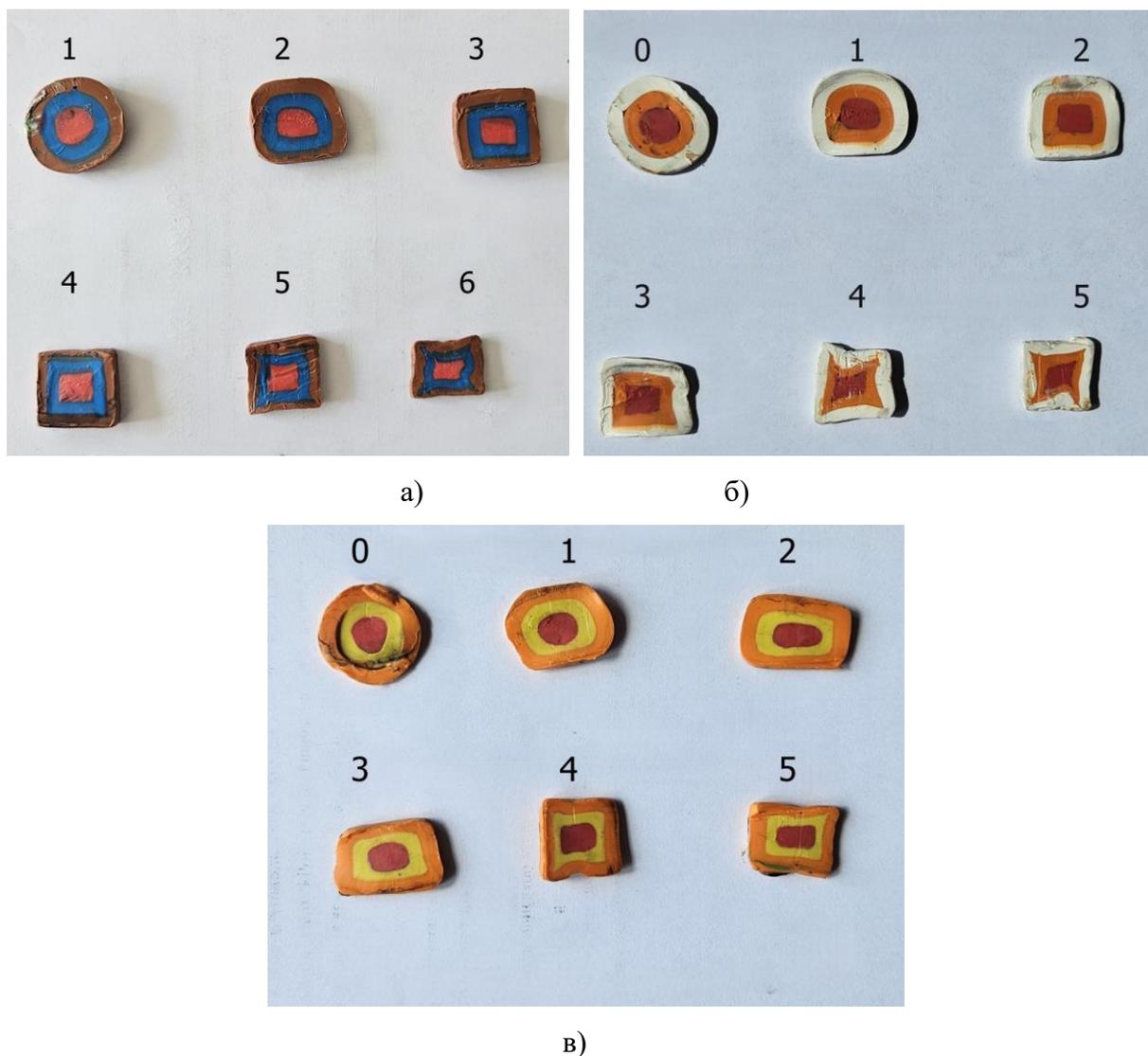


Рис. 2 – Вид образца после протяжки (буквы соответствуют схемам на рис.1)

Сравнение схем протяжки выполняли через коэффициент эффективности, который представлял собой отношение площади сердцевины слитка до протяжки к площади сердцевины слитка после протяжки.

Результаты сравнительного анализа приведены на рис 3.

Из данной диаграммы следует, что схема протяжки «а» оказалась наиболее эффективной, так как средние коэффициенты эффективности протяжки оказались выше, по сравнению с другими схемами. Таким образом схема протяжки «а» оказалась эффективнее на 19% чем схема «б» и эффективнее на 24,2 % чем схема «в».

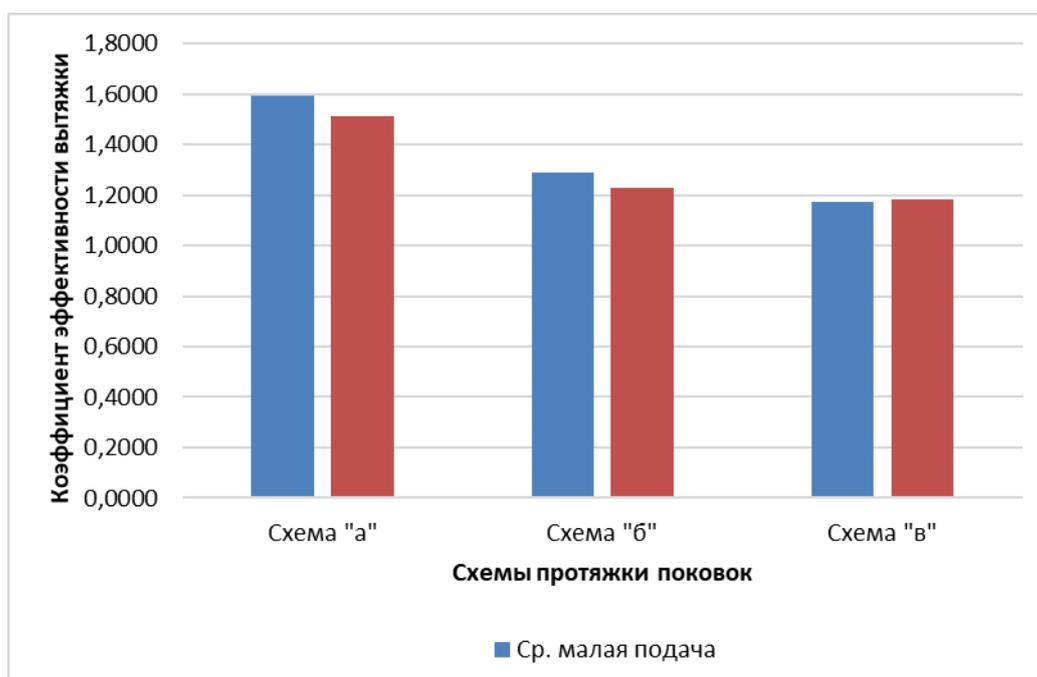


Рис. 3 – Диаграмма соотношения коэффициентов эффективности протяжки

Вывод. Из работы следует, что применение схемы протяжки «а», при которой происходит 4 кантовки, а затем подача, наиболее эффективно устраняет дефекты литой структуры заготовки. Поэтому стоит подробно исследовать и возможно применить в производстве не только твердых инструментальных сталей, но и углеродистых легированных конструкционных сталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Кулик, Георгий Николаевич О дефектной зоне слитка и ее расположении в теле заготовки // *Металлообработка*. 2014. №6 (84). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-defektnoy-zone-slitka-i-ee-raspolozhenii-v-tele-zagotovki> (дата обращения: 16.05.2024).
2. Константинов, И.Л. Основы технологических процессов обработки металлов давлением / И.Л. Константинов, С.Б. Сидельников – М.: ИНФРА-М, 2016. – 487 с.
3. Голенков, В.А. Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов / В.А. Голенков, С.П. Яковлев, С.А. Головин, С.С. Яковлев, В.Д. Кухарь; под ред. В.А. Голенкова, С.П. Яковлева. – М.: Машиностроение, 2009. – 442 с.
4. Титов, Ю. А. Свободная ковка. Основные операции и технологии: учебное пособие/ Ю. А. Титов, А. Ю Титов. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 73 с.
5. Исследование влияния комбинированного деформационного воздействия на формоизменение кристаллизующейся сортовой заготовки с использованием физической модели / Е. Н. Смирнов, В. А. Скляр, Д. И. Богадевич [и др.] // *Технология металлов*. – 2019.

– № 4. – С. 2-11. – DOI 10.31044/1684-2499-2019-4-0-2-11.

6. Интенсификация сдвиговых деформаций при ковке трехлучевых слитков / В. А. Белевитин, Е. Н. Смирнов, С. Ю. Коваленко [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении. – 2018. – Т. 16, № 2. – С. 68-73.

7. Андреященко, В.А., Ичева Ю.Б. Особенности деформационного поведения конструкционной стали при ковке // Вестник ПНИПУ. Механика. 2018. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-deformationnogo-povedeniya-konstruktsionnoy-stali-pri-kovke> (дата обращения: 16.05.2024).

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОСАДКИ КВАДРАТНОЙ ЗАГОТОВКИ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕГО КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ

Скляр В.А., Ребенок А.П., Шарипов А.Х.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
konfor1@yandex.ru*

***Аннотация.** В результате экспериментального исследования на лабораторном гидравлическом прессе были изучены особенности процесса осадки в различных условиях внешнего контактного трения. По итогам исследования для проведения лабораторных работ по изучению процесса осадки с теоретическим вычислением силы осадки было рекомендовано применять образцы симметричного квадратного сечения размером 40 x 40 мм с высотой, не превышающей 10 мм.*

Ключевые слова: осадка; метод тонких сечений; лабораторный пресс; сила; образец.

STUDYING THE PROCESS OF DRAFT A SQUARE BILLET UNDER VARIOUS CONDITIONS OF EXTERNAL CONTACT FRICTION

Skliar V.A., Rebenok A.P., Sharipov A.H.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** As a result of an experimental study on a laboratory hydraulic press, the features of the draft process under various conditions of external contact friction were studied. According to the results of the study, it was recommended to use samples of a symmetrical square section measuring 40 x 40 mm with a height not exceeding 10 mm to carry out laboratory work on the study of the draft process with a theoretical calculation of the precipitation force.*

Keywords: draft; thin section method; laboratory press; force; sample.

Введение

В современном мире обработка металлов давлением играет важную роль в производстве качественных изделий. Одним из ключевых процессов является осадка,

которая влияет на прочность, надёжность и себестоимость продукции. Для изучения особенностей этого процесса используются различные методы и оборудование, одним из которых является лабораторный гидравлический пресс.

При проведении лабораторных работ по курсу «Общая теория ОМД» используется пресс гидравлический пресс ПРГ-1-70. На данном прессе производят осадку образцов с измерением силы. Также в программе курса предусмотрена курсовая работа, в которой теоретическим методом рассчитывается сила осадки. Поэтому интересным становится разработка лабораторной работы, в которой полученные результаты на практике будут сравниваться с теоретическими.

Однако теоретический метод осадки имеет много допущений, в частности он рассчитан для «бесконечной» полосы, имеет ограничения по размерам полос и т.д [1-4]. Поэтому для изучения процесса осадки часто используют конечноэлементное или физическое моделирование [5-7].

В связи с этим встал вопрос выбора формы и размера образцов для лабораторной работы.

Таким образом, целью настоящей работы являлось изучение процесса осадки квадратной заготовки на лабораторном прессе, для уточнения параметров, используемых при расчетах в лабораторных работах

Методика проведения исследования

Исследовалось 3 образца, из имеющегося набора, которые наиболее подходили для исследования и имели разные размеры и форму (рис. 1).



Рис. 1 – Образцы для исследования процесса осадки

Все образцы обжимали на прессе до одинакового усилия в 5000 кг. Далее фиксировали уменьшение силы до этапа времени, когда ее значение практически не менялось. Данное мероприятие необходимо чтобы исключить влияние упругой деформации элементов пресса и возникающего упрочнения образцов и последующей рекристаллизации свинца.

Для теоретического определения силы осадки используется инженерный метод тонких сечений [8]. Для этого составляют уравнения равновесия сил, действующее на сечение, и решают их. Решение производилось для всех трех размеров образцов.

Результаты и их обсуждение

В результате расчетов получали эпюру напряжений. На рис. 2 представлена эпюра для образца с размерами 10x40x40 мм. Вид эпюры соответствует общепринятому.

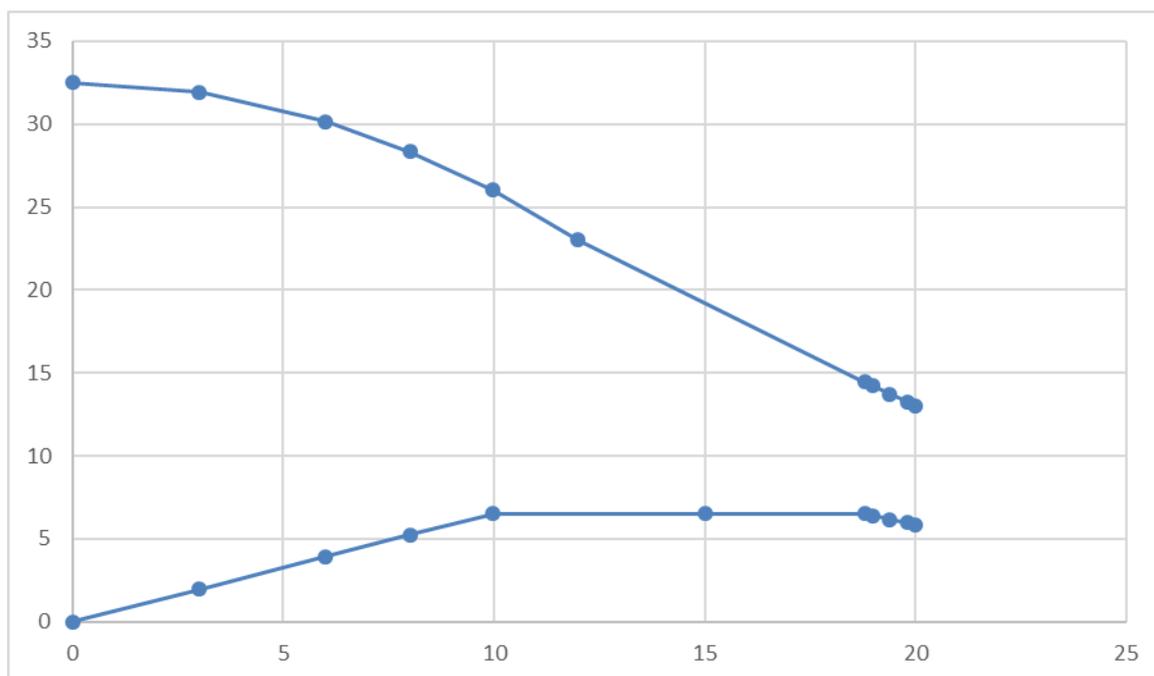


Рис. 2 – Эпюра распределения нормальных и касательных напряжений в начальный момент осадки

Сравнение результатов теоретических расчетов с экспериментальными данными (рис. 3) показали, что при осадке образца размерами 10 x 40 x 40 мм наблюдаются минимальные расхождения между теоретическим и экспериментальным значением силы осадки. Расхождение составляет 4,5 %. Поэтому именно такие образцы мы рекомендуем использовать в лабораторных работах.

Вывод. Выполнено экспериментальное исследование на лабораторном гидравлическом прессе ПРГ-1-70 с использованием образцов различной формы и размеров для изучения процесса осадки. В качестве факторов эксперимента принимались начальная ширина, толщина, длина заготовки и условия контактного трения.

Результаты сравнения теоретических расчетов с экспериментальными данными показали, что образцы сечением 10 x 10 мм и 20 x 70 мм имеют сильные различия между теоретически рассчитанной и замеренной экспериментально силой осадки. В то время как

при осадке образца размерами 40 x 40 мм различие между теоретической величиной силы осадки и экспериментальными значениями составило 4,5 %.

В дальнейшем для проведения лабораторных работ по изучению процесса осадки с теоретическим вычислением силы осадки рекомендуется применять образцы симметричного квадратного сечения (например, 40 x 40 мм) с высотой, не превышающей 10 мм.

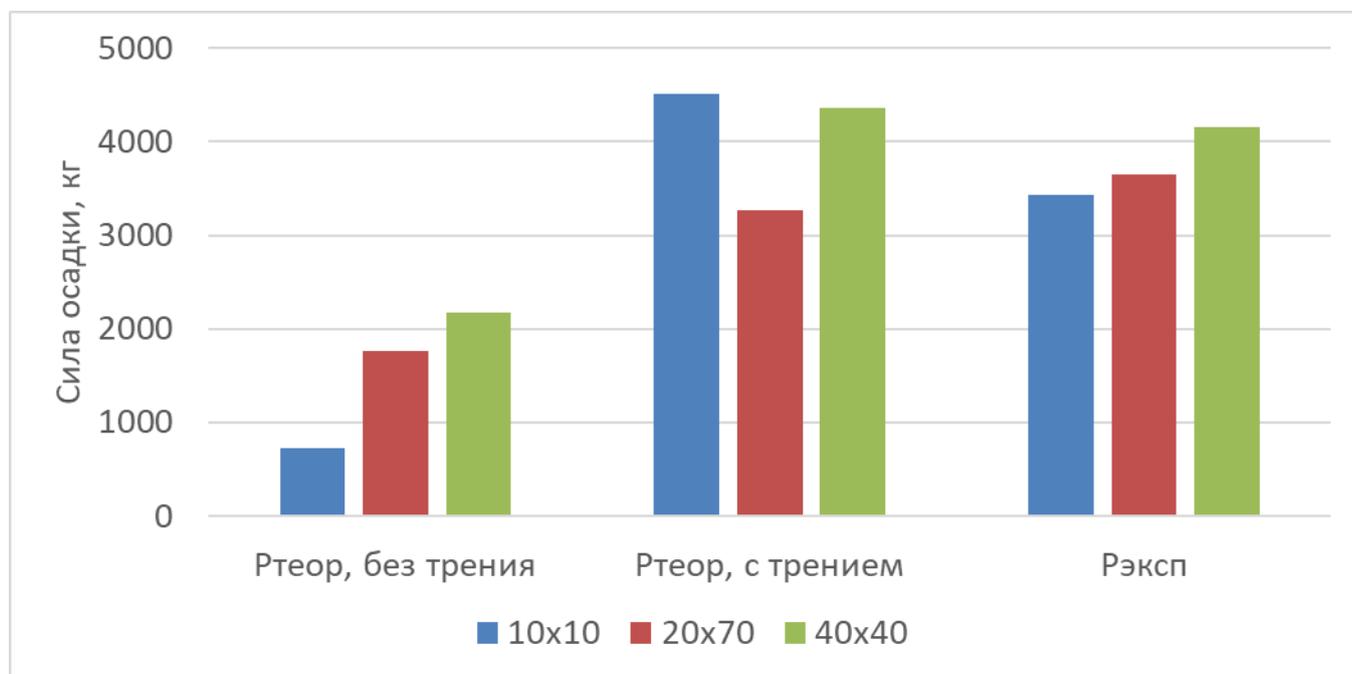


Рис. 3 – Сравнение теоретического расчета с экспериментальным исследованием

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Теория прокатки: справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзини и др. – М.: «Металлургия», 2018. – 335с.
2. Чекмарев, А.П. Калибровка прокатных валков / А.П. Чекмарев, М.С. Мутьев, Р.А. Машковцев. – М: Metallurgiya, – 512 с.
3. Грудев, А.П. Теория прокатки: учебник для вузов / А.П. Грудев. – М.: Metallurgiya, 2016. – 240 с.
4. Зайков, М. А. Процесс прокатки / М. А. Зайков, В. П. Полухин, А. М. Зайков, Л. Н. Смирнов. – М.: МИСиС, 2004. - 640с.
5. Smyrnov, Y. Application of numerical model of continuous cast bloom crystallization to improve the efficiency of mechanical soft reduction technology / Y. Smyrnov, V. Skliar, V. Belevitin // Materials Science Forum. – 2019. – Vol. 946. – P. 684-689.
6. Исследование влияния комбинированного деформационного воздействия на формоизменение кристаллизующейся сортовой заготовки с использованием физической

модели / Е. Н. Смирнов, В. А. Скляр, Д. И. Богаевич [и др.] // Технология металлов. – 2019. – № 4. – С. 2-11.

7. Скляр, В. А. Численное моделирование теплового состояния непрерывнолитых слитков в двухфазном состоянии / В. А. Скляр, Ф. Ю. Сотников // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство : материалы тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Старый Оскол, 23–25 ноября 2016 года. Том 1. – Старый Оскол: Старооскольский технологический институт (филиал) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", 2016. – С. 132-139.

8. Теория и расчеты процессов обработки металлов давлением: учеб. пособие : в 2 т. / А. Л. Воронцов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ В БРИКЕТЕ ПРЯМОВОССТАНОВЛЕННОГО ЖЕЛЕЗА

Скляр В.А., Ухаткин И.Ю., Гириянова А.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
konfor1@yandex.ru*

***Аннотация.** В результате экспериментального исследования было изучено распределения плотности в брикете прямовосстановленного железа с помощью метода гидростатического взвешивания. В результате проведенных исследований выявлено существенная неравномерность распределения прочностных свойств по телу брикета прямовосстановленного железа.*

Ключевые слова: брикеты; окатыши; брикет-пресс; деформация; охлаждение; транспортировка.

INVESTIGATION OF DENSITY DISTRIBUTION IN A BRIQUETTE OF DIRECT REDUCTION IRON

Skliar V.A., Ukhatkin I.Yu., Giryainova A.V.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** As a result of an experimental study, density distributions in a briquette of direct reduction iron were studied using the hydrostatic weighing method. As a result of the conducted research, a significant unevenness in the distribution of strength properties over the body of a briquette of direct reduction iron was revealed.*

Keywords: briquettes; pellets; briquette press; deformation; cooling; transportation.

Введение

Технологии производства железа прямого восстановления, в основном в виде металлизированных окатышей и горячебрикетированного железа (ГБЖ) продолжают развиваться и совершенствоваться [1].

В настоящее время в РФ осуществляется строительство нескольких установок по производству горячебрикетированного железа. ГБЖ обладает лучшей транспортабельностью, безопасностью при перегрузке и транспортировке различными видами транспорта по сравнению с металлизированными окатышами. В то же время брикеты ГБЖ подвергаются значительным механическим нагрузкам в процессе транспортировки, что приводит к их частичному разрушению и образованию мелочи.

Цель работы – установить факторы, влияющие на прочность брикета путем изучения физических и механических свойств брикета.

Методика проведения исследования

Для оценки распределения деформации в процессе горячего брикетирования железа прямого восстановления необходимо изучить структуру самих брикетов [2].

Для испытания использовали брикеты горячебрикетированного железа АО «ЛГОК». Брикет распиливался вдоль и поперек, для получения объемной картины. Исследовалась распределение плотности по частям брикета.

В рамках данной работы для измерения плотности использовались высокоточные весы ВЛЭ-1023С1 с комплектом для гидростатического взвешивания SHIMADZU SMK-101.

Использование метода гидростатического взвешивания позволяет измерить объем и плотность объектов, которые имеют сложную форму. Процесс включает последовательное взвешивание объекта в воздухе и в жидкости (например, воде). Первоначальным действием является взвешивание объекта в воздухе для определения его массы с учетом архимедовой силы, вторым этапом исследуемый образец погружается в жидкость и взвешивается снова. По закону Архимеда вычисляется вес жидкости, которую вытеснило исследуемым образцом, что позволяет рассчитать объем погруженного тела. Полученные данные используются для расчета плотности тела по специальной формуле [3, 4].

Таким образом, метод гидростатического взвешивания представляет собой точный способ измерения плотности сложных объектов без необходимости измерения объема через линейные размеры. Взвешивание производили по три раза и вычисляли среднее значение.

Результаты и их обсуждение

В результате исследования получили диаграмму распределения плотности темплетов по длине брикета (рис. 1).

Как видим по длине брикета наблюдается существенная разница в плотности между темплетами № 1 и № 2. Это указывает на разную степень деформации, которую претерпевают разные части в процессах формирования данного брикета. В условной нижней части ячейки брикет-пресса (темплет №1), куда с самого начала попадают окатыши, степень деформации высокая, что объясняет высокое значение плотности. Однако, по мере закрытия

ячейки брикет пресса в процессе поворота валков, подпитка окатышами прекращается и в условной верхней части брикета (темплет №2), наблюдается меньшее значение плотности, обусловленное недостаточной степенью деформации. В последствие данная часть брикета разрушается в первую очередь при ударах.

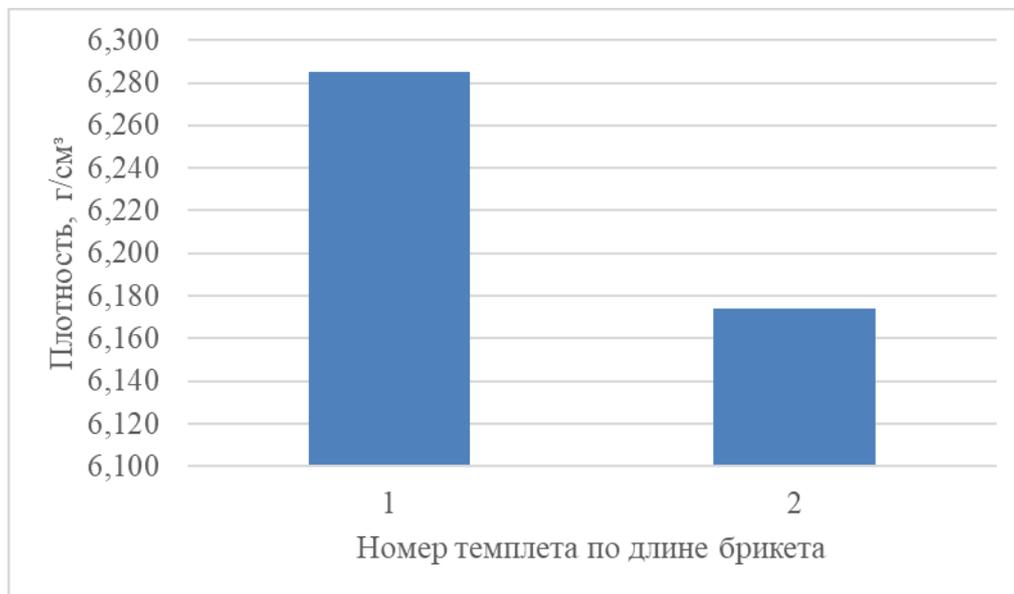


Рис. 1 – Распределения плотности по темплетам брикета

Диаграмма распределения плотности темплетов по ширине брикета приведена на рис. 2.

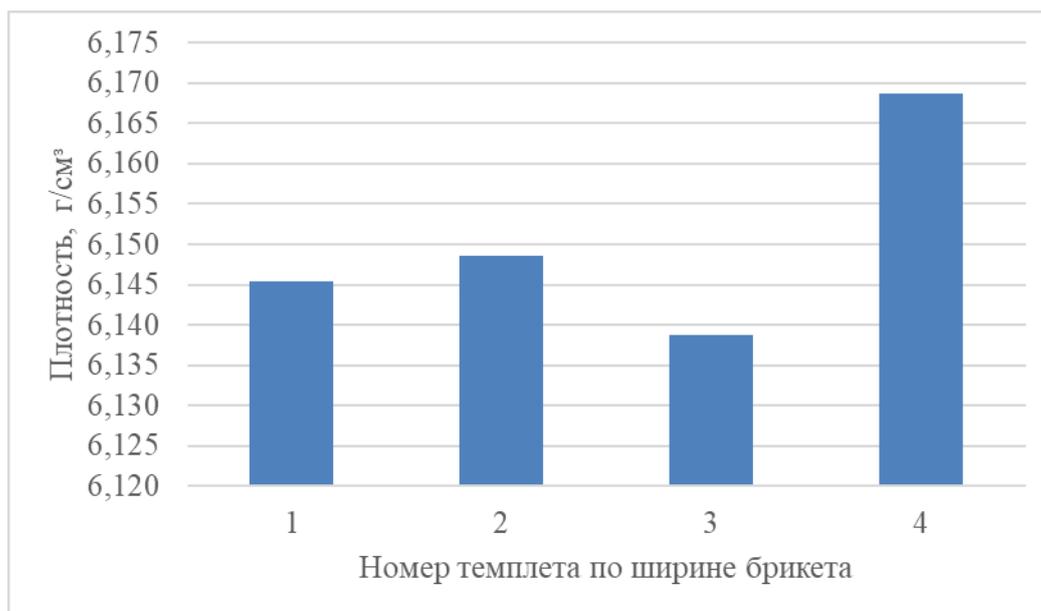


Рис. 2 – Распределения плотности по темплетам брикета №2

Как видим по ширине брикета также наблюдается существенная разница в плотности между темплетами. Это, снова же, указывает на разную степень деформации, которую претерпевают разные части в процессах формирования данного брикета. В условной части ячейки брикет-пресса которая ближе к центру валка (темплет №4), где находится сопло питателя, степень деформации высокая, что объясняет высокое значение плотности. В то время как, на периферии ячейки, подпитка окатышами меньше и в условной крайней части брикета (темплет №1), наблюдается меньшее значение плотности, обусловленное недостаточной степенью деформации. В последствие данная часть брикета разрушается в первую очередь при ударах.

Из результатов исследования можно сделать вывод о том, что брикеты имеют различные значения плотности по всему своему объему. При разрезе брикета вдоль, большая плотность наблюдается в условной нижней части брикета. В то время как при поперечном разрезе большая плотность наблюдалась в центральной части ленты из двух брикетов. В центральной части заметна просадка плотности, связанная с тем что в центральной части брикет, имеет большую толщину из-за чего окатыши получают меньшую степень деформации по сравнению с сужающимися краями.

Таким образом, анализ распределения плотности и прочности показывает, что наибольшая прочность наблюдается в нижней части брикета, которая ближе к центральной части ленты из двух брикетов, наименьшая же прочность наблюдается в верхней части брикета, которая ближе к краям ленты (рис. 3).



Рис. 3 – Распределение прочности в брикете

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Кириченко, И.С. Развитие мирового и отечественного производства железа прямого восстановления / И.С. Кириченко, А.В. Алексахин // Молодой ученый. - 2016. - № 2. – С.85-90.
2. Скляр, В.А. Анализ макроструктуры горячебрикетированного железа / В.А. Скляр, Е.А. Черменев, И.С. Князев // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. – Старый Оскол: 2023. – С. 39-44.
3. Парпиев, Д.Б. Анализ проработки макроструктуры во время прокатки медной катанки / Д.Б. Парпиев, В.А. Скляр // Colloquium-journal, Warszawa, Polska, Część 6. – 2018. - №12(23). - С. 28-30.
4. Скляр, В.А. Анализ распределения плотности в горячебрикетированном железе / В.А. Скляр, Е.А. Черменев, И.С. Князев // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. - Старый Оскол: 2021. – С. 81-86.

ИЗМЕНЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА РАБОЧИХ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНЦЕНТРАТА

Тимофеева А. С., Гладкая Е.А., Лихтина Е.Ю., Короткова Л. Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»),
Россия, Старый Оскол, 309516, Белгородская обл., г. Старый Оскол, микрорайон Макаренко, 42
iked@yandex.ru, gladkaya.ea@mail.ru, ketti25.27@yandex.ru, lara.korotkova@inbox.ru*

***Аннотация.** В статье представлены исследования по влиянию удельной поверхности концентрата на влажность фракционного состава сырых окатышей. На основе экспериментальных данных, полученных в лабораторных условиях кафедры ММ им. С. П. Угаровой, выяснено, что важным фактором, влияющим на окомкование, является содержание в шихте влаги. При увеличении фракционного состава окатышей увеличивается и влажность окатышей, для разной удельной поверхности значение влажности отличается, причем, чем больше удельная поверхность, тем выше влажность.*

Ключевые слова: удельная поверхность концентрата; окатыши; окомкователь; влажность; фракции.

CHANGE IN THE MOISTURE CONTENT OF THE FRACTIONAL COMPOSITION OF WORKING RAW PELLETS WITH A CHANGE IN THE SPECIFIC SURFACE AREA OF THE CONCENTRATE

Timofeeva A. S., Gladkaya E.A., Likhtina E.Yu., Korotkova L. N.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article presents studies on the effect of the specific surface area of the concentrate on the moisture content of the fractional composition of raw pellets. Based on experimental data obtained in the laboratory conditions of the Department of MM named after S.P. Ugarova, it was found out that an important factor influencing pelletizing is the moisture content in the charge. With an increase in the fractional composition of pellets, the humidity of pellets also increases, the humidity value differs for different specific surfaces, and the larger the specific surface, the higher the humidity.*

Keywords: specific surface area of concentration; pellets; pelletizer; humidity; fractions

Горно-металлургический комплекс Белгородской области представлен АО «КМАруда» с подземной добычей руды, Стойленским и Лебединским ГОКаами с открытой добычей руды, которые в год выпускают более 20 млн т окатышей и АО «ОЭМК им. А. А. Угарова», выпускающим металл, который по качеству превосходит мировые стандарты, Лебединский ГОК производит высококачественный концентрат, окатыши и горячебрикетированное железо. Окатыши один из основных железосодержащих компонентов шихты для выплавки стали. Их свойства и состав напрямую влияют на выход и качество годной стали. Наряду со значительным увеличением производства окатышей, необходимо дальнейшее улучшение их полезных характеристик.

На качество железорудных окатышей влияет большое количество факторов: химический, фракционный состав концентрата и бентонита, влажность компонентов шихты, однородность железорудной смеси, условия окомкования, первичная прочность сырого окатыша, термическая обработка и т. д.

Влияние влажности шихты, количества и типа связующего материала не является однозначным. При увеличении влажности до определенного значения наблюдается упрочнение сырых окатышей, после превышения этого значения прочность окатышей снижается. Увеличение количества связующего материала до экономически и технологически приемлемого значения способствует упрочнению сырых окатышей.

Анализ результатов исследований и опыт производства окатышей показывает, что качество обожженных железорудных окатышей зависит от целого ряда факторов: свойств исходного сырья, условий окомкования и гранулометрического состава сырых окатышей, параметров температурно-временной обработки при упрочняющем обжиге; минерального состава и их структуры [1,2].

Фактором, оказывающим серьезное влияние на качество обожженных окатышей, являются свойства сырых окатышей, такие как, выход рабочего класса окатышей после окомкования, влажность, гранулометрический состав окатышей и др. Практически на все свойства сырых окатышей влияет концентрат: его химический состав, влажность, удельная поверхность.

Цель исследования - выяснить влияние удельной поверхности магнетитового концентрата на влажность фракционного состава рабочих сырых окатышей.

Важным фактором, влияющим на окомкование, является содержание в шихте влаги, причем зависимость прочности сырых окатышей от количества воды носит экстремальный характер. Для магнетитового концентрата В. И. Коротич обнаружил существование двух

максимумов прочности [3]. При первом максимуме прочности система является трехфазной, частицы из-за недостатка влаги уплотнены слабо, и поэтому прочность сырых окатышей обусловлена в первую очередь действием капиллярных сил. При дальнейшем увеличении влажности образца с одновременным воздействием динамических нагрузок избыток влаги выжимается на поверхность образца, частицы уплотняются и сближаются.

Таким образом физические свойства окатышей зависят от влажности концентрата, а влажность концентрата зависит от удельной поверхности его. В зависимости от изменения удельной поверхности концентрата будет меняться и фракционный состав окатышей.

Для проведения исследований были разработаны соответствующие методики, которые используются для экспериментов по влиянию удельной поверхности концентрата на влажность фракционного состава сырых окатышей в лабораторных условиях кафедры металлургии и металловедения им. С. П. Угаровой СТИ НИТУ «МИСИС» с использованием шихты АО «Лебединский ГОК».

В каждом отдельном случае использовали по 2 кг концентрата и условия изготовления окатышей были для всех видов удельной поверхности концентрата одинаковые.

В зависимости от удельной поверхности концентрата брали соответствующую оптимальную влажность [1]. Концентрат проверяли на влажность, и если она оказывалась менее оптимальной, то рассчитывая, сколько необходимо добавить воды и добавляя ее в концентрат, получали необходимую оптимальную влажность.

Первую навеску шихты массой 1 кг загружали в работающий окомкователь и начинали процесс окомкования, причем добавляли воду до образования зародышей, затем добавляли вторую часть шихты постепенно на зародыши и при этом распыляли воду. Процесс работы окомкователя проводился в пределах 15 минут. При этом фиксировали количество воды, потраченное на окомкование

В лаборатории кафедры ММ им. С.П. Угаровой СТИ НИТУ «МИСИС» сырые окатыши получали в лабораторном окомкователе (рис. 1).

Из окомкователя окатыши извлекались с помощью металлического совка.

Таким же образом проводилось окомкование шихты с концентратом различной удельной поверхности 1702 см²/г; 1948 см²/г; 1952 см²/г. при одинаковых условиях.

Далее полученные окатыши взвесили на весах и отсеяли с помощью набора вибросит рабочие окатыши класса 8–16 мм, определили массу каждой фракции.



Рис. 1 – Лабораторный окомкователь

1 – лампа для подсветки; 2 – емкость, в которую засыпается шихта и где формируются окатыши; 3 – поддон окатышей; 4 – кнопка включения окомкователя

Следующий этап работы состоял из определения влажности окатышей каждой фракции для каждой удельной поверхности.

Влажность окатышей определяли по методике определения массовой доли влаги по ГОСТ 15054–80 [4].

Результаты определения влажности сырых окатышей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента по влажности окатышей

Удельная поверхность, см ² /г	Фракции окатышей, мм					
	8	10	11	12	14	16
1708	6,76	6,10	6,82	6,85	7,28	7,63
1948	6,73	7,21	7,29	6,96	7,02	8,59
1952	6,76	6,36	7,32	7,74	8,07	8,02

Влажность окатышей в зависимости от его удельной поверхности представлена на рисунке 2.

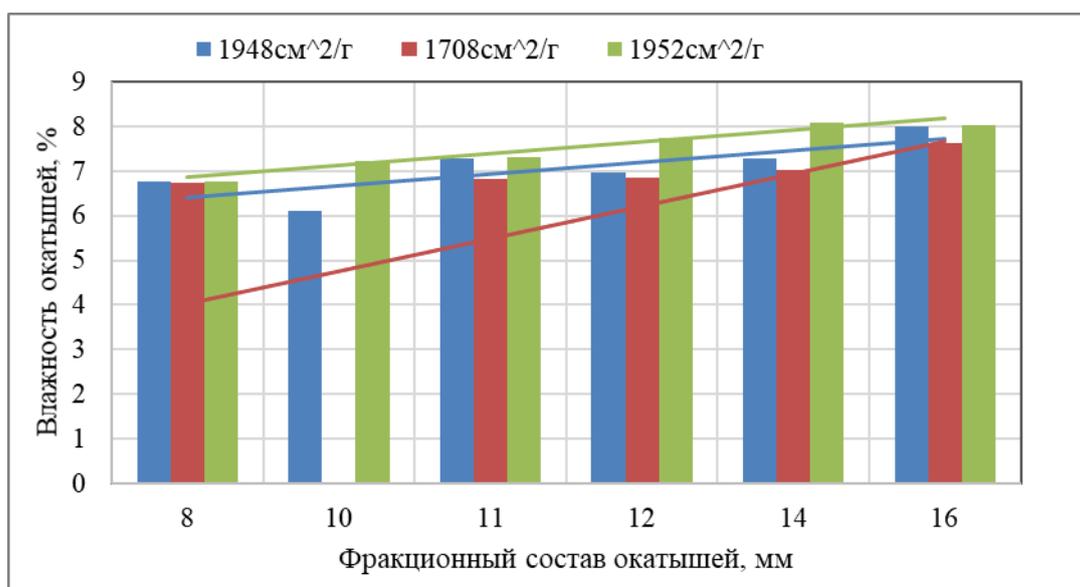


Рис. 2 – Влажность фракционного состава окатышей в зависимости от удельной поверхности концентрата

Рассматривая влажность окатышей, можно заметить, что при применении одинакового количества бентонита в общем влагосодержание сырых окатышей будет возрастать при увеличении удельной поверхности. Более низкие значения влажности сырых окатышей объясняются тем, что часть жидкости поглощается бентонитом и тогда достигается равновесное состояние системы концентрат – бентонит.

Таким образом, по результатам исследования влияния удельной поверхности концентрата на влажность сырых окатышей установлено, что с ростом удельной поверхности растёт и содержание массовой доли влаги в окатышах. Для каждой степени измельчения концентрата будет характерно своё оптимальное значение влажности, обеспечивающее комкуемость шихты.

По результатам выхода рабочих окатышей (таблица 1 и рис. 2) по распределению влаги в окатышах разных фракций в зависимости от удельной поверхности концентрата можно заметить, что чем больше фракционный состав окатышей и больше удельная поверхность, тем выше влажность. Так для удельной поверхности 1952 см²/г влажность увеличивается при увеличении диаметра окатышей до 12 мм, а затем она начинает уменьшаться, это подтверждают исследования В.И. Коротича [3] по наличию своего экстремума влажности для различной удельной поверхности концентрата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Павловец, В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Сиб. гос. ун-т. Новокузнецк: Изд. центр. СибГИУ, 2014. – 345 с.

2. Вохмякова, И.С. Разработка технологических основ производства окатышей из гематитового концентрата для использования в процессе ITmk3: дисс... кан. тех. наук: 05.16.02: защищена 15.02.2013 / Вохмякова Ирина Сергеевна. - Ур. федер. ун-т имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.- Екатеринбург, 2012.-122.

3. Коротич В. И. Теоретические основы технологий окусковывания металлургического сырья. Агломерация / В. И. Коротич, Ю. А. Фролов, Л. И. Каплун. - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ - УПИ, 2005.-417 с.

4. ГОСТ 15054–80 Руды железные, концентраты, агломераты и окатыши. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги — М.: Издательство стандартов, 1980. — 13 с.

ИЗМЕНЕНИЕ ВЫХОДА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА РАБОЧИХ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНЦЕНТРАТА

Тимофеева А.С., Гладкая Е.А., Никитченко Т.В., Кожухов А.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»),
Россия, Старый Оскол, 309516, Белгородская обл., г. Старый Оскол, микрорайон Макаренко, 42
uked@yandex.ru, gladkaya.ea@mail.ru, nikitchenko.tania@yandex.ru, koshuhov@yandex.ru*

Аннотация. На основе экспериментальных данных, полученных в лабораторных условиях кафедры ММ им. С. П. Угаровой, выяснено, что при повышении удельной поверхности увеличивается выход рабочих окатышей, причем для окатышей фракциями 12 мм и 14 мм увеличение значительное, так, для поверхности 1952 см²/г и 12 мм выход окатышей примерно на 10 % больше, чем для 1708 см²/г, а для 14 мм – это на 28 %.

Ключевые слова: сырые окатыши; фракции; выход рабочих окатышей; фракция; масса.

CHANGE IN THE YIELD OF THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF WORKING CRUDE PELLETS WHEN THE SPECIFIC SURFACE AREA OF THE CONCENTRATE CHANGES

Timofeeva A.S., Gladkaya E.A., Nikitchenko T.V., Kozhukhov A.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. Based on experimental data obtained in the laboratory conditions of the Department of MM named after S. P. Ugarova, it was found that with an increase in the specific surface area, the yield of working pellets increases, and for pellets with fractions of 12 mm and 14 mm, the increase is significant, so, for the surface of 1952 cm²/g and 12 mm, the yield of pellets is approximately 10% more, than for 1708 cm²/g, and for 14 mm it is by 28%.

Keywords: raw pellets; fractions; output of working pellets; fraction; mass.

Физические свойства сырых окатышей зависят от влажности концентрата, а влажность концентрата зависит от удельной поверхности его. В зависимости от изменения

удельной поверхности концентрата будет меняться и фракционный состав окатышей, а, следовательно, и выход рабочих окатышей [1-3].

Цель данной работы – выяснить влияние удельной поверхности концентрата на фракционный состав и выход сырых рабочих окатышей.

Рабочий класс окатышей представлен окатышами размером от 8 до 16 мм. Наиболее эффективным рабочим классом является класс от 10 до 14 мм.

Удельная поверхность железорудных концентратов обусловлена их фракционным составом. В таблице 1 представлены разные удельные поверхности концентратов, их фракционные составы и удельные поверхности.

Таблица 1 – Связь гранулометрического состава железорудных концентратов с удельной поверхностью частиц [4]

ГОК	Фракционный состав, %		$S_{уд}^{эксп}$, см ² /г	$d_{экв}$, мкм	$S_{уд}^{расч}$, см ² /г	f
	фракция < 50 мкм	фракция < 10 мкм				
Михайловский	84,6	5,5	1550	25,5	780	2,0
Центральный	89,7	5,5	1550	25,0	800	1,88
Лебединский	86,1	14,1	1700	18,0	1100	1,55
Стойленский	92,1	15,3	1800	17,5	1150	1,55

* $S_{уд}^{эксп}$, $S_{уд}^{расч}$ - удельная поверхность частиц экспериментально определенная и рассчитанная; $d_{экв}$ - эквивалентный диаметр частиц; f - фактор формы.

В настоящее время Стойленский ГОК и Лебединский ГОК используют концентрат с другой удельной поверхностью, не попадающей по значению в данные по удельной поверхности таблицы 1.

В лаборатории кафедры металлургии и металловедения им. С. П. Угаровой СТИ НИТУ «МИСИС» проводили эксперименты с использованием шихты АО «ЛГОК». Для проведения исследований были разработаны соответствующие методики, которые использовали для экспериментов по влиянию удельной поверхности концентрата на фракционный состав и выход рабочего класса сырых окатышей с разной удельной поверхностью концентрата.

Условия проведения экспериментов для получения результатов, были одинаковы для шихты с различной удельной поверхностью 1708, 1948 и 1952 см²/г. Для получения окатышей в каждом эксперименте шихта состояла из 2 кг концентрата и 0,7 % бентонита от концентрата.

В зависимости от удельной поверхности концентрата брали соответствующую оптимальную влажность [5]. Концентрат проверяли на влажность, и если она оказывалась менее оптимальной, то рассчитывая, сколько необходимо добавить воды и добавляя ее в концентрат, получали необходимую оптимальную влажность.

После получения окатышей из концентрата разной удельной поверхности на лабораторном окомкователе, определили фракционный состав окатышей для каждой удельной поверхности концентрата с помощью весов и вибросита (таблица 2).

Результаты экспериментов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные по фракционному составу рабочих окатышей

Удельная поверхность, см ² /г	1708	1948	1952
	кг		
-8мм	0,527	0,307	0,020
Рабочие окатыши			
8-9 мм	0,577	0,602	0,156
10мм	0,344	0,202	0,186
11мм	0,285	0,153	0,173
12мм	0,287	0,212	0,586
14мм	0,031	0,097	0,695
16мм	0,022	0,049	0,132
Общая масса рабочих окатышей, кг	1,546	1,314	1,928

Из таблицы 2 видно, что общая масса рабочих окатышей тем больше, чем выше удельная поверхность концентрата. По фракционному составу нерабочих окатышей наибольший результат у окатышей с удельной поверхностью 1708 см²/г.

Результаты выхода окатышей рабочего класса в зависимости от удельной поверхности концентрата представлено на рисунке 1.

По результатам экспериментов выхода рабочего класса сырых окатышей видно, что он изменяется при использовании концентрата с различной удельной поверхностью (рис. 1).

При применении концентрата с удельной поверхностью 1952 см²/г выход рабочего класса сырых окатышей составил более 98 %, с удельной поверхностью ниже общий выход меньше, особенно для удельной поверхности 1708 см²/г. При этом следует отметить, что в

процессе окомкования образовывалось много мелочи, рост окатышей был затруднен, особенно для удельной поверхности концентрата $1708 \text{ см}^2/\text{г}$, что говорит о невысокой комкуемости концентрата со значением удельной поверхности менее $1952 \text{ см}^2/\text{г}$.

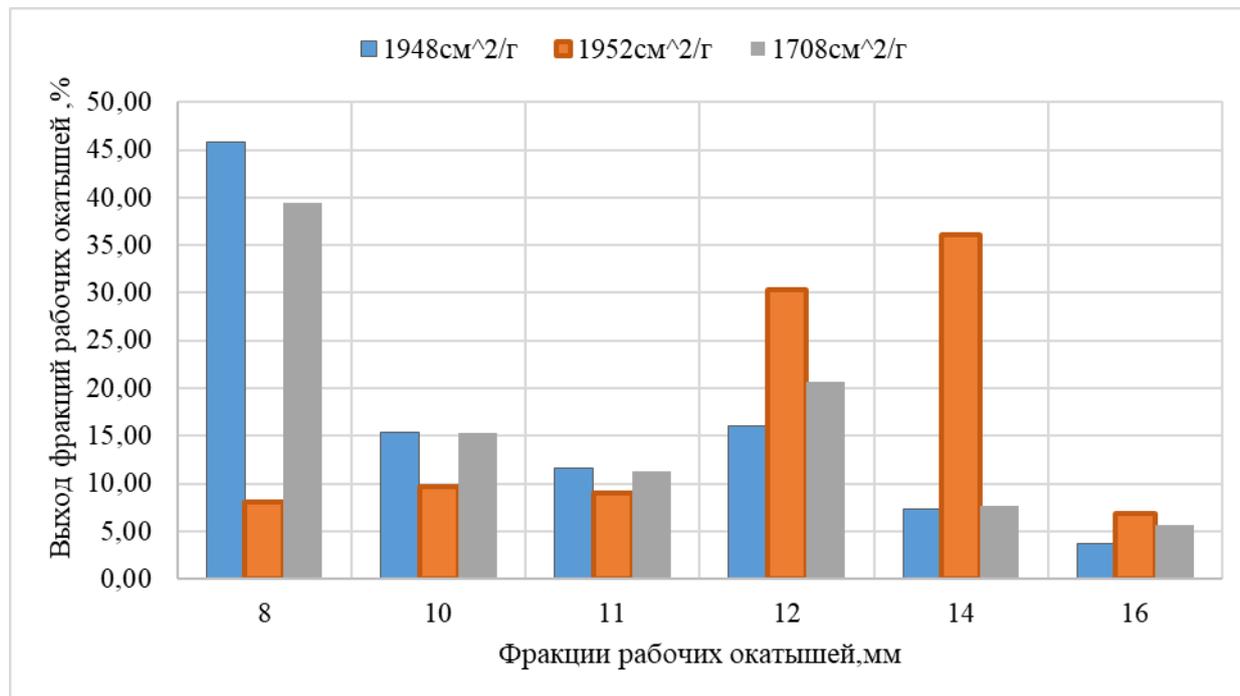


Рис. 1 – Зависимость выхода фракционного состава рабочих окатышей от удельной поверхности концентрата

Для эффективных рабочих окатышей фракциями 12 мм и 14 мм увеличение значительное, так, для 12 мм выход окатышей происходит примерно на 10 % больше для поверхности $1952 \text{ см}^2/\text{г}$, чем для $1708 \text{ см}^2/\text{г}$., а для 14 мм – на 28%.

При окомковании, при меньшей удельной поверхности концентрата, больше образовывалось частиц класса менее 8 мм, т.е. в производственных условиях будет возрастать количество возврата сырых окатышей.

При увеличении удельной поверхности, в целом, выход годного класса окатышей возрастает. При этом несколько увеличивается влагосодержание концентрата после фильтрования за счет адсорбционной влаги и облегчает притяжение частиц в процессе формирования окатыша, при этом растет число контактов между частицами концентрата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Экстракция чёрных металлов из природного и техногенного сырья: учебное пособие / А. С. Тимофеева, Т. В. Никитченко, Е. С. Тимофеев. – Старый Оскол: ТНТ, 2014. – 304 с.

2. Производство окисленных окатышей / Л. К. Кокорин, С. Н. Лелеко. – Екатеринбург: Уральский центр ПР и рекламы, 2004. – 280 с.
3. Теоретические основы производства окускованного сырья: учеб. пособие для вузов. / Д. А. Ковалев, Н. Д. Ванюкова, В. П. Иващенко, Б.П. Крикунов, М.Б. Ягольник, М. Н. Бойко. –НМетАУ.- Днепропетровск: ИМА-пресс, 2011.– 476 с.
4. Коротич В. И. Теоретические основы технологий окусковывания металлургического сырья. Агломерация / В. И. Коротич, Ю. А. Фролов, Л. И. Каплун. - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ - УПИ, 2005.-417 с.
5. Павловец, В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В. М. Павловец. – Сиб. гос. ун-т. Новокузнецк: Изд. центр. СибГИУ, 2014. – 345 с.

ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНЦЕНТРАТА НА СУШКУ ОКАТЫШЕЙ

Тимофеева А.С., Кожухов А.А., Шевченко А.А., Федина В.В.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»). Россия, г. Старый Оскол.

Акционерное общество «Оскольский электрометаллургический комбинат им. А.А. Угарова». Россия, г. Старый Оскол, *iked@yandex.ru*

Аннотация. В статье представлены исследования сушки окатышей с различной удельной поверхностью концентрата. Экспериментальные данные показывают, что при увеличении удельной поверхности концентрата в исследуемых пределах скорость испарения повышается.

Ключевые слова: окатыши; концентрат; сушка; испарение; скорость.

THE EFFECT OF THE SPECIFIC SURFACE OF THE CONCENTRATE ON THE DRYING OF PELLETS

Timofeeva A.S., Kozhukhov A.A., Shevchenko A.A., Fedina V.V.

Starooskolsky Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" (STI NUST MISIS). Russia, *Stary Oskol*

Joint Stock Company Oskolsky Electrometallurgical Combine named after A.A. Ugarov. Russia, *Stary Oskol*

Abstract. The article presents studies of drying pellets with different specific surface area of the concentrate. Experimental data show that with an increase in the specific surface area of the concentrate within the studied limits, the evaporation rate increases.

Keywords: pellets; concentrate; drying; evaporation; speed.

В настоящее время металлурги рассматривают железорудные окатыши с точки зрения качественного сырья, с позиций перспективности сырья, способного к транспортировке на любые расстояния без потерь ими металлургических свойств. С другой стороны, фабрики по производству окатышей испытывают трудности, связанные с отсутствием или низким качеством бентонита, повышающего свойства сырых окатышей и их термостойкость.

Качественное изменение сырьевой базы основных переделов черной металлургии за счет увеличения в шихте материалов с высокой добавленной стоимостью обусловило повышение требований к металлургическим свойствам железорудных окатышей как для доменного производства, так и для металлизации [1]. Ужесточение требований определяет необходимость корректировок в технологии производства окатышей, начиная со стадии сушки. Эффективность сушки является определяющим фактором в обеспечении требуемых характеристик окатышей.

Определение результативных путей интенсификации производства, с непременным повышением качественных характеристик обожженных окатышей, может быть достигнуто путем детальных исследований процессов сушки окатышей.

Цель: исследовать влияние удельной поверхности концентрата на сушку окатышей и

На кафедре металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой СТИ НИТУ «МИСИС» по разработанной методике была проведена серия экспериментов по изучению влияния удельной поверхности концентрата на скорость сушки окатышей и на испарение влаги. Для эксперимента брали магнетитовый концентрат и бентонит, которые применяются для производства окатышей в условиях АО «ЛГОК».

Удельная поверхность концентрата составила $1708\text{см}^2/\text{г}$; $1948\text{см}^2/\text{г}$ и $1952\text{см}^2/\text{г}$. В лабораторных условиях были получены окатыши в лабораторном окомкователе при одинаковых условиях. Затем каждый вид окатышей подвергался сушке при температуре 300°C в течение 25 минут на лабораторной установке (рис. 1).

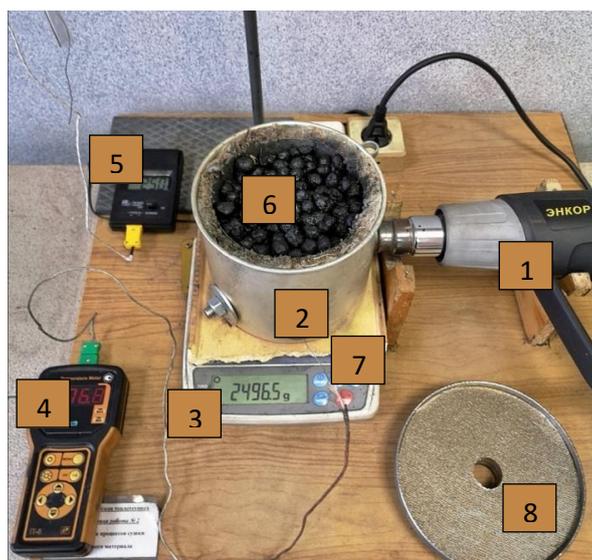


Рис. 1 – Лабораторная установка для проведения опыта по сушке слоя сырых окатышей
1 – тепловой пистолет ЭНКОР; 2 - цилиндрическая емкость для загрузки окатышей; 3 - весы электронные марки ЕК-6100i; 4 - термопара марки IT-8; 5 - термопара марки Lutron TM 902C; 6 – сырые окатыши; 7 – огнеупор; 8 – крышка от емкости; 9 – штатив

При продувке сырых окатышей воздухом с температурой 300⁰С окатыши нагревали и измеряли температуру входа и выхода газа и массу испарившейся воды по разнице масс сосуда в начале эксперимента и через каждую минуту. Результаты представлены на рисунке 2.

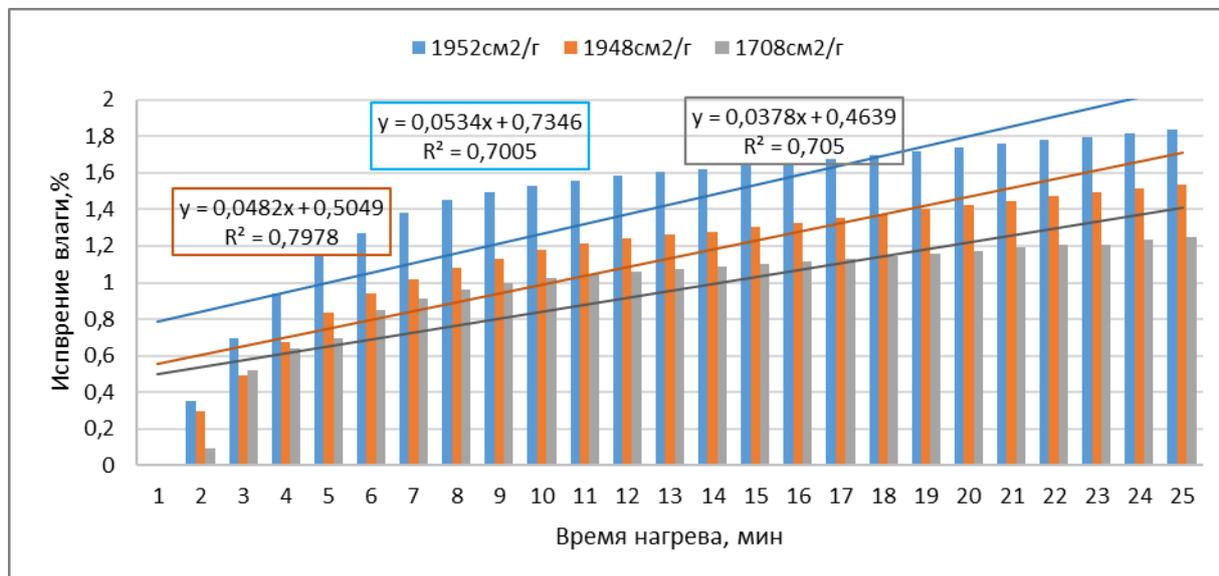


Рис. 2 – Влияние испарения воды из окатышей при нагреве от удельной поверхности концентрата

По результатам исследований видно, что при увеличении удельной поверхности концентрата, увеличивается испарение влаги. Это, видимо, связано с тем, что увеличивается количество окатышей рабочего класса и их влажность [2-5]. При увеличении удельной поверхности концентрата увеличивается возможность нагревания большего количества воды и, следовательно, испарения.

Скорость испарения (г/мин) в зависимости от удельной поверхности концентрата, из которого изготовлены окатыши, представлена на рисунке 3.

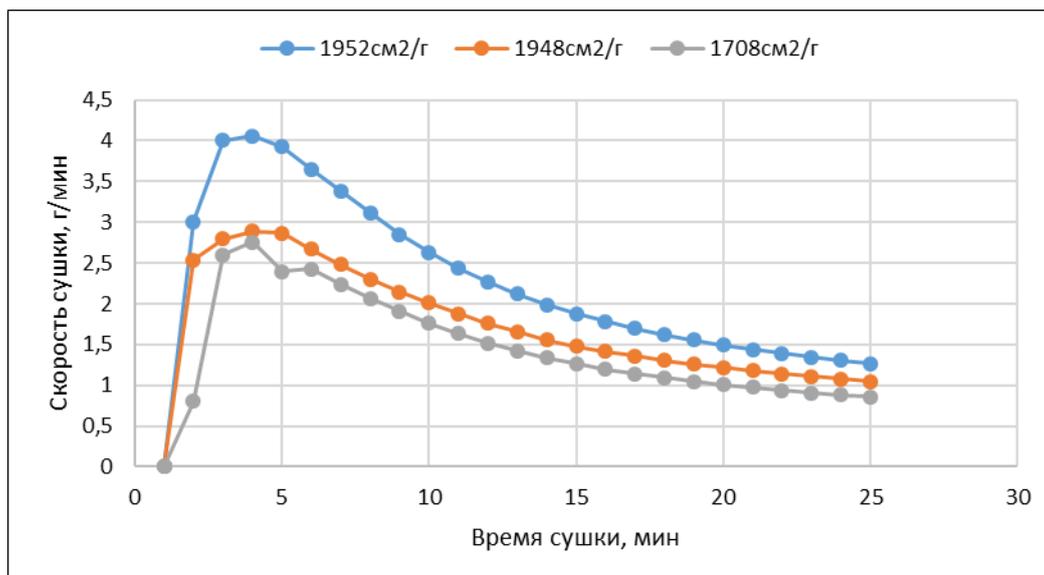


Рис. 3 – Влияние удельной поверхности концентрата на скорость испарения воды при сушке окатышей

При увеличении удельной поверхности в исследуемых пределах увеличивается влажность и выход рабочих окатышей. При нагреве испарение воды тоже соответственно увеличивается (рис. 2). Если посмотреть на скорость испарения, то для удельной поверхности 1948см²/г и 1708см²/г кривые, определяющие скорость испарения воды при нагреве практически параллельны и находятся друг от друга на небольшом расстоянии, в то время как кривая для окатышей из концентрата с удельной поверхностью 1952см²/г показывает увеличение скорости сушки по отношению к первым 2 видам. Это связано с увеличением площади поверхности окатышей (при увеличении выхода рабочего класса окатышей), через которую и происходит испарение.

Скорость сушки для всех окатышей постепенно уменьшается и происходит рост температуры поверхности окатышей. По мере прогрева слоя окатышей влага удаляется из центральной части окатыша к поверхности в виде пара.

Сушка слоя окатышей является одним из важных и сложных технологических процессов. Сложность заключается и в том, что на него накладываются как особенности сушки отдельного окатыша, так и особенности слоевого процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Солодухин, А.А. Закономерности формирования зоны переувлажнения окатышей на обжиговой конвейерной машине: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.16.02 / Солодухин Андрей Александрович. – Екатеринбург, 2012. – 20 с.

2. Влияние удельной поверхности магнетитового концентрата на влажность и пористость сырых окатышей. Тимофеева А.С., Никитченко Т.В., Гладкая Е.А., Киселева Н.А. Сталь. 2024. № 6. С. 2-5.

3. Влияние удельной поверхности концентрата на выход годного при окомковании сырых окатышей. Тимофеева А.С., Никитченко Т.В., Ромашин С.Н., Кононыхин А.В., Смирнова Ю.В., Федина В.В. Сталь. 2023. № 8. С. 2-5.

4. Influence of Specific Surface Area of Magnetite Concentrate on Moisture and Yield of Quality Raw Pellets. A. S. Timofeeva, T. V. Nikitchenko, E. A. Gladkaya, and N. A. Kiseleva, Steel in Translation Vol. 54 №6 2024 s.559-542.

5. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд. – Новокузнецк: изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.

ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНЦЕНТРАТА НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ОКАТЫШЕЙ ПРИ СУШКЕ

Тимофеева А.С., Гладкая Е.А., Федина В.В., Никитченко Т.В., Шевченко А.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»). Россия, г. Старый Оскол.

Акционерное общество «Оскольский электрометаллургический комбинат им. А.А. Угарова». Россия, г. Старый Оскол, *iked@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе в лабораторных условиях проводили эксперименты по влиянию удельной поверхности концентрата на прочность окатышей после сушки. Выяснено, что все окатыши больших фракций, как сырые, так и сухие, имеют тенденцию к увеличению прочности. Начиная с эффективной фракции 11 мм увеличение прочности на сжатие идет с увеличением удельной поверхности концентрата, особенно это заметно для сухих окатышей.

Ключевые слова: концентрат; удельная поверхность; окатыши; нагрев; испарение; прочность.

THE EFFECT OF THE SPECIFIC SURFACE AREA OF THE CONCENTRATE ON THE STRENGTH PROPERTIES OF PELLETS DURING DRYING

Timofeeva A.S., Gladkaya E.A., Fedina V.V., Nikitchenko T.V., Shevchenko A.A.

Starooskolsky Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" (STI NUST MISIS). Russia,

Stary Oskol

Joint Stock Company Oskolsky Electrometallurgical Combine named after A.A. Ugarov. Russia, Stary Oskol

Abstract. In this work, experiments were carried out in the laboratory on the effect of the specific surface area of the concentrate on the strength of pellets after drying. It was found out that all pellets of large fractions, both raw and dry, tend to increase strength. Starting with an effective fraction of 11 mm, the increase in compressive strength goes with an increase in the specific surface area of the concentrate, this is especially noticeable for dry pellets.

Keywords: concentrate; specific surface area; pellets; heating; evaporation; strength.

Физическую модель сушки слоя окатышей можно представить в следующем виде. При продувке слоя теплоноситель, проходя через слой влажных окатышей, нагревает их, испаряет влагу и повышает свое влагосодержание в виде водяного пара, при этом его температура снижается. Температура теплоносителя становится равновесной («точка росы»), когда его влагосодержание достигает 100 %. Дальнейшее охлаждение теплоносителя влажными окатышами приведет к конденсации влаги, которая будет продолжаться до тех пор, пока температура газа и окатышей на данном горизонте не сравняются [7]. После чего насыщенный влажный теплоноситель движется через этот горизонт, не изменяя своих параметров, и конденсация влаги переносится в вышележащий (более холодный) горизонт окатышей. В результате конденсации влаги на поверхности окатышей образуется зона переувлажнения.

Количество воды в уходящем теплоносителе будет зависеть от равновесной температуры насыщения газа водяным паром, которая обусловлена совокупностью параметров, определяющих работу зоны сушки. В дальнейшем процесс сушки характеризуется повышением температуры отходящих газов.

Равновесная температура и эффективность сушки зависят от удельного расхода, температуры, влагосодержания теплоносителя и температуры окатышей [1].

Для решения поставленной задачи были проведены эксперименты по получению окатышей из концентрата различной удельной поверхности. Для всех вариантов условия окомкования были одинаковыми. Магнетитовый концентрат удельной поверхностью 1708 см²/г; 1948 см²/г; 1952 см²/г и бентонит были взяты с фабрики окомкования АО «ЛГОК». Полученные окатыши были подвергнуты сушке при температуре 300⁰С в течение 25 минут на лабораторной установке [2].

В ходе эксперимента окатыши помещали в емкости на весы с точностью 0,001 г и продували воздухом с температурой 300⁰С, которую измеряли на входе и на выходе термopарами через каждую минуту. В это же время фиксировали массу емкости с окатышами.

По истечении 25 минут нагрев окатышей прекращали. Затем была определена прочность окатышей на сжатие. На рисунках 1 и 2 представлены результаты исследований прочности соответственно сырых и сухих окатышей различных фракций в зависимости от удельной поверхности концентрата.

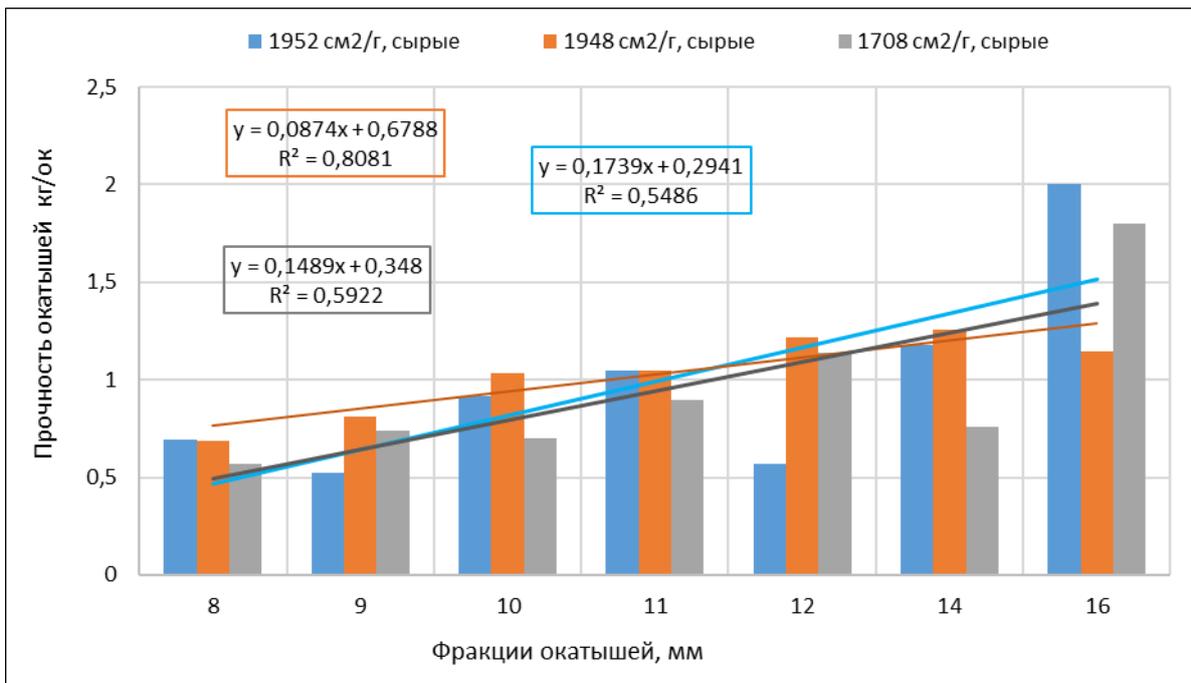


Рис. 1 – Прочность на сжатие сырых окатышей

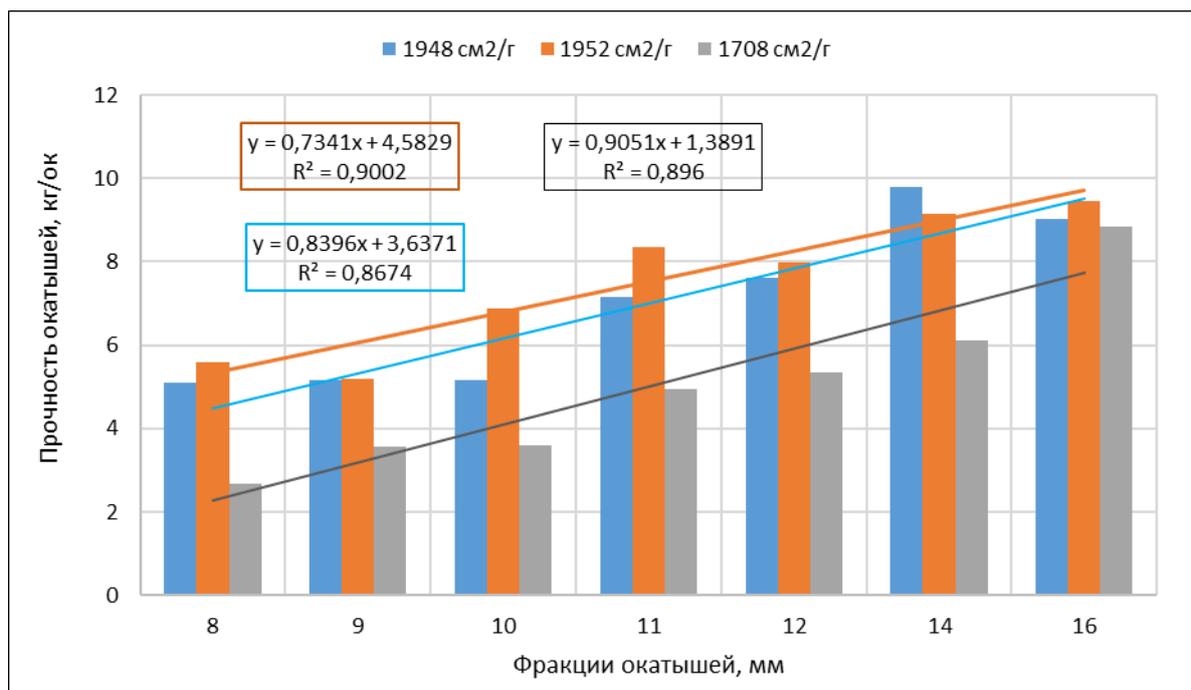


Рис. 2 – Прочность на сжатие сухих окатышей

Результаты исследований, представленные в работах [3-6] говорят о том, что с увеличением удельной поверхности концентрата увеличивается количество частиц, а, следовательно, и их связь, которая характеризует прочность окатышей.

Проведенные исследования и анализ полученных зависимостей показателей прочности на сжатие сырых (рис. 1) и сухих (рис. 2) окатышей от концентрата различной

удельной поверхности показывает, что с ростом фракций и удельной поверхности увеличивается прочность, но для сухих окатышей различие в прочности окатышей за счет удельной поверхности концентрата значительно выше, чем для сырых. Так, для фракций от 11 мм до 16 мм прочность сухих окатышей выше более, чем на 30% для концентрата с удельной поверхностью 1952см²/г, чем для 1708,8см²/г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Абзалов, В.М., Горбачев, В.А., Евстюгин, С.Н., Клейн, В.И., Леонтьев, Л.И., Юрьев, Б.П. Физико-химические и теплотехнические основы производства железорудных окатышей: уч. пособие, под ред. академика РАН Леонтьева Л.И./ В.М Абзалов, В.А. Горбачев, С.Н. Евстюгин, В.И. Клейн, Л.И. Леонтьев, Б.П. Юрьев. – Екатеринбург: МИЦ, 2012. – 340 с.
2. Лабораторная установка для сушки окатышей Шевцов В.А., Парпиев Д.Б., Арутюнян А.Б., Дуракова В.А. Материалы Шестнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 09-10 декабря 2019 г. / редколлегия: Ю.И. Еременко, Е.В. Ильичева, Л.Н. Крахт, А.А. Кожухов, А.В. Макаров, С.Н. Востокова – Старый Оскол, 2019. – 706 с.
3. Маерчак, Ш. Производство окатышей. Пер. со словац. – М. Metallurgia, 1982. – 232 с.
4. Павловец, В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд / В.М. Павловец. – Сиб. гос. ун-т. Новокузнецк: Изд. центр. СибГИУ, 2014. – 345 с.
5. Коротич В.И. Теоретические основы окомкования железорудных материалов. – М.: Metallurgia, 1966. – 151 с.
6. Производство окисленных окатышей / Л. К. Кокорин, С. Н. Лелеко. – Екатеринбург: Уральский центр ПР и рекламы, 2004. – 280 с.

СЕКЦИЯ 2 «ГОРНОЕ ДЕЛО»

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ БУРОВЫХ СТАНКОВ ТИПА СБШ-250-МНА-32

Бабанин Н.Г., Климов В.Н.

*Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»)
Россия, г. Губкин*

***Аннотация.** В данной статье рассматривается процесс автоматизации на опытном образце бурового станка типа СБШ-250-МНА-32. Описываются основные принципы и методы автоматизации, а также преимущества, которые она предоставляет.*

Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения эффективности и безопасности процесса бурения, что особенно важно в условиях современного производства. Автоматизация позволяет снизить влияние человеческого фактора на процесс бурения и повысить точность и качество выполняемых работ.

Особое внимание уделяется вопросам безопасности и надёжности автоматизированных систем. В заключении статьи подводятся итоги и делаются выводы о перспективах развития автоматизации процесса бурения буровых станков.

Ключевые слова: автоматизация, горное дело, буровой станок, бурение.

AUTOMATION OF THE DRILLING PROCESS OF DRILLING RIGS TYPE SBSH-250-MNA-32

Babanin N.G., Klimov V.N.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** This article discusses the automation process on a prototype drilling rig type SBSH-250-MNA-32. The basic principles and methods of automation are described, as well as the advantages that it provides.*

The relevance of the topic is due to the need to improve the efficiency and safety of the drilling process, which is especially important in modern production conditions. Automation reduces the influence of the human factor on the drilling process and improves the accuracy and quality of the work performed.

Special attention is paid to the safety and reliability of automated systems. At the end of the article, the results are summarized and conclusions are drawn about the prospects for the development of automation of the drilling process of drilling rigs.

Keywords: automation, mining, drilling rig, drilling.

Введение

В горном деле автоматизация процессов производства становится всё более актуальной и востребованной. Это связано с необходимостью повышения качества продукции, эффективности и конкурентоспособности предприятий. Автоматизация позволяет сократить затраты на производство, повысить производительность труда и обеспечить безопасность работы.

Переход от системы комплексной механизации к системе автоматизации является мировой тенденцией, которая наблюдается не только в горном деле, но и в различных отраслях промышленности. Этот переход обусловлен развитием технологий, появлением новых материалов и оборудования, а также изменением требований к качеству продукции.

Таким образом, автоматизация процессов производства является важным направлением развития мировой экономики. Она позволяет предприятиям повышать свою эффективность, конкурентоспособность и качество продукции.

1. Комплексная автоматизация буровых станков СБШ-250МНА-32

«АБС-1» - Система автоматизации бурового станка

Данная система была опробована на самоходных станках шарошечного бурения взрывных скважин типа СБШ-250МНА-32 и других его модификаций, и в дальнейшем, возможно, будет применяться на постоянной основе, поскольку она позволяет обеспечить максимальный объем автоматизации технологических операций, использование критерия максимума производительности, выбрать соответствующий режим бурения для разных категорий горных пород. Имеет широкий диапазон настроек на различные горно-технологические условия, модульность структуры позволяет реализовать рациональный объем автоматизации для конкретных условий.

Схема автоматического бурения



Рис. 1 – Схема автоматического бурения

Система «АБС-1» позволяет:

- управлять скоростью подачи бурового инструмента в зависимости от категории буримости горных пород;
- регулировать частоту бурения бурового става в зависимости от уровня вибрации платформы бурового станка при бурении трещиноватых пород;
- выводить процесс в ситуации зашламовки скважины;
- измерять глубину скважины и отключать бурение при достижении заданной глубины;
- горизонтировать платформу бурового станка перед началом бурения.

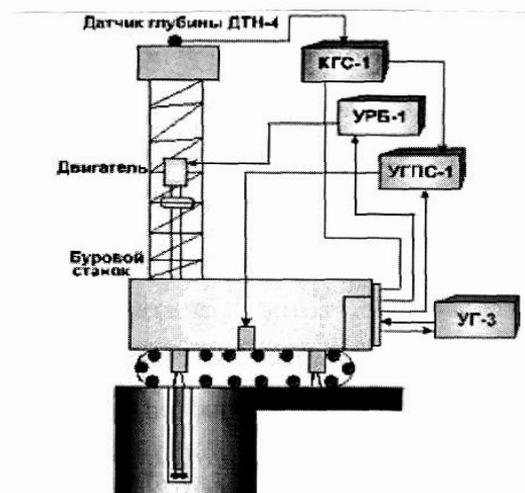


Рис. 2 – Схема системы «АБС-1»

Система «АБС-1» состоит из подсистем:

- контроля глубины скважины КГС-1;
- управления гидроприводом станка УГПС-1;
- управления режимом бурения УРБ-1;
- горизонтирования платформы станка УГ-3.

Таблица 1 – Основные характеристики системы

Диапазон контролируемых вибраций, Гц	1-30
Допускаемое отклонение установки станка в горизонтальной плоскости по двум взаимно-перпендикулярным осям, угловых секунд	30
Время горизонтирования, с	30
Дискретность измерения глубины скважины, м	0,1
Напряжение питания, В	220
Частота, Гц	50

2. Способ монтажа данной системы на СБШ-250МНА-32

Системы УГПС-1, УГ-3 и УРБ-1 монтируются на стенке машинного отделения бурового станка.

Система КГС-1, пульты управления УГПС-1 и УГ-3 монтируются на передней стенке в кабине машиниста.

Датчик глубины скважины ДТН-4 монтируется в верхней части мачты бурового станка взамен блока поддержки гирлянды (электрического кабеля двигателя и шланга воздушно-водяной смеси).

Все системы соединяются с электрической схемой станка и между собой комплектом кабелей.

Датчик давления системы УГПС-1 соединяется с напорной магистралью на маслостанции бурового станка.

3. Управление буровыми станками с помощью GPS

Автоматизированная система управления буровыми работами представляет автоматизированную систему на основе высокоточной навигации ГЛОНАСС/GPS VG Drill на буровых станках СБШ-250МНА-32.

Управление буровыми станками с помощью GPS позволяет повысить как точность, так и производительность буровых работ. В этом случае GPS приемник устанавливается на буровом станке, и при помощи дифференциальной коррекции спутникового радиосигнала в режиме реального времени, непрерывно вычисляет координаты стрелы станка. Система управления работает круглосуточно и при любых погодных условиях, поэтому работа не будет сдерживаться из-за плохой погоды или отсутствия маркшейдеров.

Буровые станки могут передвигаться по запланированной сетке бурения без необходимости ее предварительной разметки на местности, что исключает целый этап буровых работ. Необходимую для этого информацию бортовой компьютер бурового станка получает по радиоканалу из диспетчерского центра.

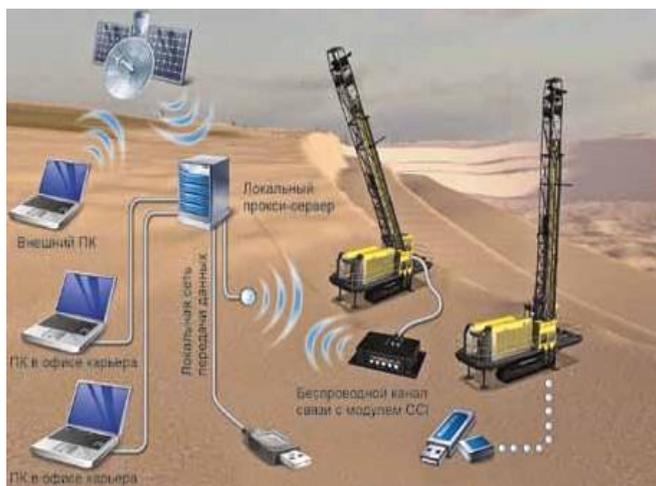


Рис. 3 – Система связи и дистанционного доступа к станку

Некачественные буровзрывные работы происходят за счет неточного наведения бурового станка и неправильной инициации взрыва, а для качественного взрыва необходим проект зарядки скважин, учитывающий не только фактические координаты устьев скважин и ее наклона, но и измеренные в процессе бурения прочностные характеристики

горных пород. Использование системы VG Drill, разработанной компанией ВИСТ Групп позволяет получить трехмерную привязку измеряемых величин. Проектировщики буровзрывных работ получают возможность конструировать зарядку скважин с учетом прочности отдельных слоев. Более точный расчет и последующее распределение заряда вдоль скважины наряду с более точным расчетом инициирования взрыва позволяет существенно уменьшить количество негабаритов при одновременной экономии взрывчатых веществ, минимизировать вредное влияние на окружающую среду.



Рис. 4 – расположение приемников системы «АВС-1» на СБШ-250МНА-32

Система управления работой буровых станков включает высокоточный спутниковый приемник канадского производителя «Novatel» для позиционирования бурового става станка в горизонтали и вертикали; специализированные контрольно-измерительные приборы; Бортовую консоль IM-D10s для отображения режимов работы бурового станка, обмена текстовой информацией с диспетчером, наведение на точку бурения, отображение плана горных работ и определение фактической выработки.

Система контролирует следующие показатели:

- номер скважины;
- установленная глубина скважины;

- текущая глубина бурения;
- скорость бурения;
- осевое давление на инструмент;
- скорость вращения бурового инструмента;
- угол наклона бурового става;
- нагрузку вращателя бурового инструмента;
- напряжение вращателя бурового инструмента;
- давление в гидросистеме вращателя;
- давление в гидросистеме осевого давления;
- давление компрессора;
- текущая дата;
- текущее время;
- время бурения.

Система управления работой буровых станков построена на совместной работе с программным модулем IM-Drilling и позволяет:

- наводить на точку бурения буровой станок с точностью от 2 до 20 см;
- учитывать количество пробуренных метров и скважин;
- отображать параметры бурения на мониторе оператора бурового станка и управляющего диспетчера;
- формировать регламент бурения на каждую скважину;
- производить расчет параметров зарядов по величине энергоемкости бурения;
- осуществлять анализ прочностных свойств пород на основе параметров бурения;
- планировать производство горных работ;
- отображать зоны безопасной дистанции при производстве буро-взрывных работ;
- экспортировать базы данных в специальные программные комплексы (например Blast Maker и др.)

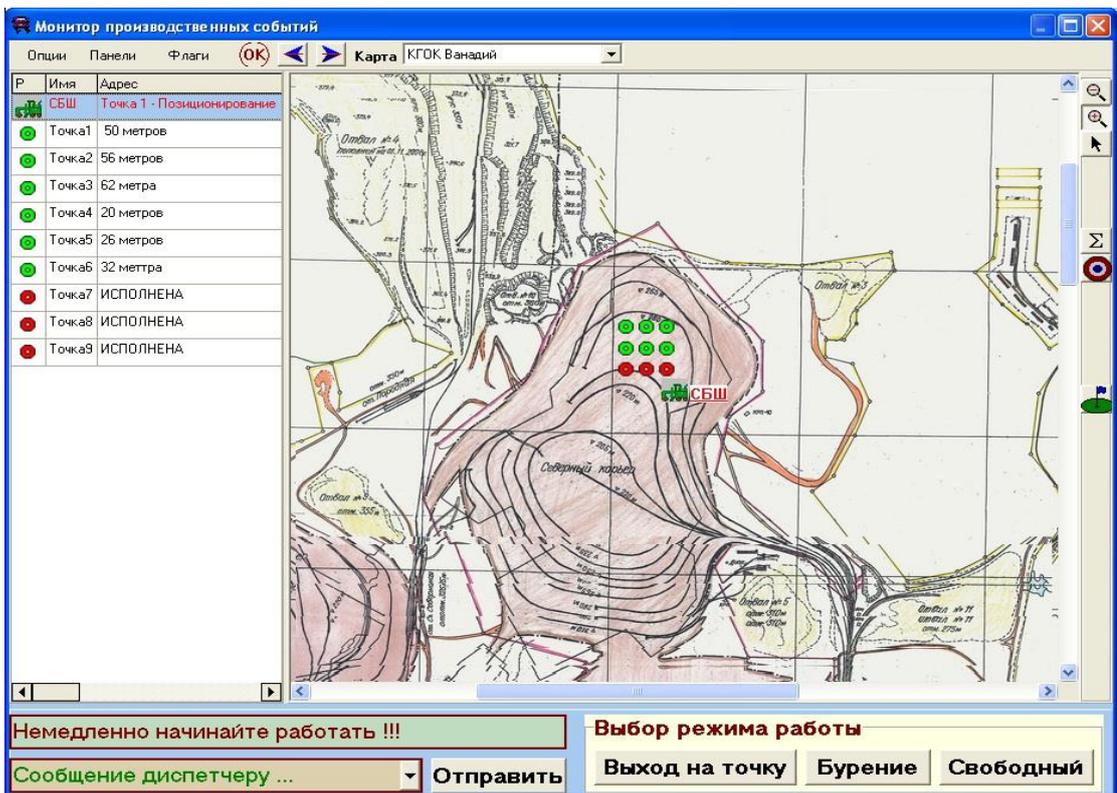


Рис. 5 – Контроль работы оператора бурильного станка



Рис. 6 – Выносной экран для управления буровым станком

Заключение

Таким образом, автоматизация процесса бурения буровых станков типа СБШ-250МНА-32 может стать эффективным решением для повышения производительности

и качества работ. Она позволит сократить время на выполнение операций, снизить затраты на оплату труда, повысить качество выполняемых работ и сократить простои.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Подерни, Р.Ю. Механическое оборудование карьеров [Текст]: Учебник для ВУЗов/ Р.Ю.Подерни.-М.: «Майнинг Медиа Групп»,2011.-640с:ил.

2. Квагинидзе, В.С. Буровые станки на карьерах Конструкции эксплуатация расчет [Текст]: В.С.Квагинидзе, Г.И.Козовой, Ф.А.Чакветадзе, Ю.А. Антонов, В.Б.Корецкий.-М.: «Горная книга»,2012.-291с.:ил.

3. Бритарев, В.А. Горные машины и комплексы [Текст]: Учебное пособие для горных техникумов В.А. Бритарев, В.Ф. Замышляев.- М.:Недра,1984.288с.

4. Подерни, Р.Ю. Анализ конструкций современных станков вращательного бурения взрывных скважин на открытых работах [Текст] Журнал «Горное оборудование и электромеханика» 2009.-№2.-с27-34.

5. Подерни, Р.Ю. Основные концепции создания бурового станка нового технического уровня [Текст]. «Горный журнал» 1994-№3-с35-39.

6. Братченко,Б.Ф. Автоматизация и автоматизированные системы управления в угольной промышленности [Текст]: Справочник-М.:Недра,1976.-250с.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

Кошелев В.В., Блудов А.Н.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»)

bik029@mail.ru, wadim_koshelev@vk.com

***Аннотация.** В работе рассмотрены аспекты повышения производительности сварки толстостенных изделий. Оценена эффективность использования способа сварки под слоем флюса двумя дугами, который значительно повышает качество сварного шва, а также производительность по сравнению с классическим способом сварки под слоем флюса. Рассмотрен метод ультразвукового контроля на фазированных решетках, который является достоверным, производительным и информативным. С помощью данного метода контроля можно выявлять и измерять дефекты на труднодоступных участках изделия.*

Ключевые слова: сварка под слоем флюса; сварка двумя дугами; процесс сварки «тандем»; ультразвуковой контроль; фазированные решетки; односторонний шов.

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF A SYSTEM OF TECHNICAL SOLUTIONS TO IMPROVE THE PRODUCTIVITY OF WELDING PROCESSES AND ENSURE QUALITY IN WELDED JOINTS

Koshelev V.V., Bludov A.N.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** The paper considers aspects of improving the welding performance of thick-walled products. The efficiency of using the method of welding under a layer of flux with two arcs, which significantly improves the quality of the weld, as well as productivity compared with the classical method of welding under a layer of flux, is evaluated. The method of ultrasonic control on phased arrays, which is reliable, productive and informative, is considered. Using this control method, it is possible to identify and measure defects in hard-to-reach areas of the product.*

Keywords: submerged flux welding; two-arc welding; tandem welding process; ultrasonic control; phased arrays; one-sided seam.

Введение

Для развития экономики страны требуется внедрение высокоэффективных технологических процессов с целью повышения производительности и качества выпускаемой продукции. При изготовлении толстостенных сварных узлов и конструкций, в частности сосудов, работающих под давлением и в агрессивных средах, с толщиной стенки более 8-10мм, сварные соединения проектируют с разделкой кромок, что обеспечивает формирование корня шва при наложении первого шва, но вынуждает производить сварку в несколько проходов для заполнения разделки. Кроме того, условие работы ответственных конструкций диктует необходимость контроля в объеме 100% для выявления дефектов сварных швов и в свою очередь, приводит к значительным затратам времени и средств на указанные операции. При этом общая протяженность сварных швов может достигать нескольких десятков, и более, метров.

В этих условиях применение высокопроизводительных способов сварки и эффективных методов контроля обеспечивает значительную экономию времени и средств при изготовлении таких конструкций.

В связи с вышесказанным, целью данной работы является поиск путей решения комплексной задачи: высокопроизводительной технологии сварки, обеспечивающей требуемого качества соединений и эффективного метода контроля их качества для выявления возможных дефектов.

В промышленности, для сварки толстостенных сварных конструкций широко применяют автоматическую сварку под слоем флюса. Данный способ обладает следующими преимуществами: высокой производительностью, превышающей производительность ручной дуговой сварки в 10-12 раз; высоким качеством сварки за счёт того, что применение флюса при его плавлении обеспечивает защитную плёнку вокруг зоны сварки и препятствует проникновению в неё окружающего воздуха; электрическая дуга при автоматизированной сварке получается более стабильной, т.к. находится под защитным слоем сварочного флюса; при автоматической сварке потери электродного металла не превышают 2-5%, так как угар металла и его разбрызгивание практически отсутствуют; при автоматической сварке коэффициент использования теплоты от электрической дуги более высокий, чем при ручной сварке; процесс автоматической сварки под флюсом полностью механизирован, что позволяет уменьшить до минимума трудоёмкий и дорогостоящий ручной труд и снизить квалификацию сварщика; улучшенные условия работы сварщика; исключено воздействие дуги на глаза, поэтому, не требуется специальной маски или очков для защиты глаз.

Несмотря на высокое качество сварных соединений, полученных способом сварки под слоем флюса не исключена вероятность появления дефектов. Характерными являются такие дефекты, как шлаковые включения, подрезы, наплывы, трещины, непровары, поры, которые выявляет ультразвуковой контроль.

Анализ современных технологических процессов показал, что задачу совершенствования технологии сварки под слоем флюса толстостенных сосудов давления можно решить, внедрив метод сварки двумя дугами, иными словами «тандем-процесс», позволяющий увеличить производительность операций в 1.8-2 раза по сравнению с классическим методом автоматической сварки под слоем флюса.

Процесс сварки «тандем»

Особенности технологии сварки под флюсом, такие как плавление металла при горении дуги, защита наплавленного металла при взаимодействии с воздухом и др., требуют тщательного подбора параметра, таких как скорость сварки, и сварочных материалов, в частности флюсов. При подборе параметров сварки необходимо учитывать, что после прохождения первой дуги, расплавленный металл образует шлаковую корку, которая достаточно быстро застывает. Вторая дуга может вытеснять жидкий, еще не затвердевший флюс. В связи с этим возникают особые требования к качеству флюса, а также к контролю параметров и качества сварного шва.

В процессе сварки «тандем» под флюсом каждая из двух проволок подключена к своему сварочному источнику и блоку управления (рис.1), и каждая проволока подается своим подающим механизмом [1]. Ведущая дуга, работающая на высоком токе и низком напряжении, обеспечивает глубокое проплавление, в то время как последующая дуга сглаживает и придает финишную форму сварному валику.



Рис. 1 – Сварочные головки A6S и A6DSTandem фирмы Esab

Технология сварки «тандем» имеет сложный процесс управления. Две сварочные дуги, находящиеся на небольшом расстоянии друг от друга, оказывают взаимное воздействие одна на другую и на стабильность процесса. Для управления процессом был разработан метод синхронизированной импульсной сварки [2]. Преимущества данной технологии: улучшение возможности проплавления; сокращение время достижения стабилизации горения дуг.

В настоящее время существует два варианта процесса сварки «тандем»: синхронизированная импульсная сварка с близкорасположенными дугами и не синхронизированная сварка.

Синхронизированная импульсная сварка может ограничить производительность, так как проволоки не могут подаваться с большой скоростью и быть полностью синхронизированы в противофазе, поскольку каждый импульс тока должен иметь достаточно времени для расплавления материала. В отведенный промежуток времени импульсы начинают перекрывать друг друга, что может привести к проблемам стабильности дуги и (или) к увеличению образования брызг. Данный способ позволяет улучшить геометрию и свойства сварного стыка, но подбор параметров сварки занимает достаточно много времени, и проблемы отклонения дуги и образование брызг остаются, особенно при больших сварочных токах и скоростях сварки.

При не синхронизированной сварке и при увеличенном расстоянии между электродами требования к обеспечению стабильности дуги, несколько снижаются

(присадочная электродная проволока может быть установлена независимо от другой, поскольку взаимное влияние дуг небольшое); минимизируются проблемы отклонения дуги и образования брызг; появляется возможность использования расширенных комбинаций типа дуг; можно достичь более глубокого проплавления тогда, когда процесс происходит при большем расстоянии между электродами.



Рис. 2 – Сечение шва

Шов на рисунке 2 выполнен с полным проплавлением тандемной сваркой с увеличенным расстоянием между электродами около 20 мм.

При этом процесс становится достаточно гибким и надежным. Проверка и подбор сварочных параметров прост и существенно снижены проблемы отклонения дуги и образование брызг.

Однако при увеличенном расстоянии между электродами можно ожидать нежелательную частичную кристаллизацию сварочной ванны между дугами (то есть две дуги и две ванны), и может пропасть положительный эффект увеличенного проплавления. Возможно появление таких дефектов как наплыв периферийной области шва на основной металл деталей. Проблемы начала сварки и остановки сварки при больших расстояниях между электродами разрешаются применением функций плавного старта и заварки кратера (прямые швы при сварке панелей и балок). Рекомендуемое расстояние между сварочными горелками составляет 20 мм.

Преимущества данного метода сварки [3]:

- обеспечивается повышенная производительность при использовании дополнительного оборудования;
- высокоэффективен для сварки при строительстве крупногабаритных изделий;

возможность сварки на постоянном/переменном токе или переменном/переменном токе;

возможность быстрого и точного программирования параметров сварки для каждой горелки;

обеспечивается система обратной связи с высоким и стабильным качеством сварки, что экономит время и деньги;

обеспечивается возможность универсального позиционирования посредством легкого в использовании комплектного узла слайдеров для позиционирования сварочной горелки, управления вылетом электрода и углом между ведущей и ведомой головкой.

Контроль качества сварных соединений, сваренных по технологии «тандем» под флюсом.

Для ответственных изделий, например, корпус емкости, следует проводить ультразвуковой контроль (УЗК) или радиографию в объеме 100 %.

Радиографический и ультразвуковой контроль являются взаимодополняющими методами неразрушающего контроля. Оба метода применяются для контроля сварных соединений с целью выявления таких дефектов, как трещины, несплавления, пористость и т.д [4]. Выбор одного или другого метода часто зависит от внешних факторов или небольших различий в способности обнаружения для данного конкретного случая.

Ультразвуковой контроль является наиболее востребованным физическим методом неразрушающего контроля сварных соединений конструкций [5] и, поэтому этот способ контроля наиболее предпочтителен для выявления характерных дефектов после сварки «тандем», а именно:

шлаковые включения, подрезы, наплывы, трещины, непровары, поры.

Существует классический метод УЗК, выполняемый с помощью пьезопреобразователя (ПЭП) с одной пьезопластиной. Расположение дефектов прозвучивается по «дельта-схеме» с применением серийных ПЭП. Сначала выявляется максимум эхо-сигнала от дефекта за счет возбуждения и приема волн дифракции от вершины трещины.

Однако классический метод УЗК не полностью обеспечивает требуемый процент выявления дефектов. На ООО «НПП «35 механический завод» в г. Калуга предлагается для этих целей использовать ультразвуковой контроль на фазированных решетках.

Ультразвуковой контроль фазированными решетками (ФР) имеет преимущества перед обычным УЗК. Можно изменять угол наклона луча и фокусировку. Различные углы ввода управляемого многоэлементного датчика увеличивают вероятность обнаружения дефектов. Регулируемая геометрия эхо-сигналов минимизирует ложные индикации.

Фазированные решетки позволяют обследовать геометрически сложные детали без необходимости перемещения объекта или датчика. Быстрое получение реальных изображений положения и размеров обнаруженных дефектов [6]. Фазированные решетки представляют собой набор нескольких пьезоэлементов, конструктивно объединенных в одном корпусе преобразователя. Физический принцип работы фазированных решеток в составе УЗ-дефектоскопа заключается в генерации УЗ-волн всеми пьезоэлементами, которые в комплексе формируют УЗ-пучок.

Еще одно преимущество УЗК на ФР – это производительность контроля. Используются специализированные ПЭП с широкой диаграммой направленности, что позволяет контролировать все сечение сварного шва, не перемещая ПЭП перпендикулярно сварному шву. Данные ПЭП используют продольные волны. Они обладают высокой скоростью распространения и самым низким затуханием. Сравнение траекторий сканирования УЗК и УЗК на ФР представлено на рисунке 3 [5].

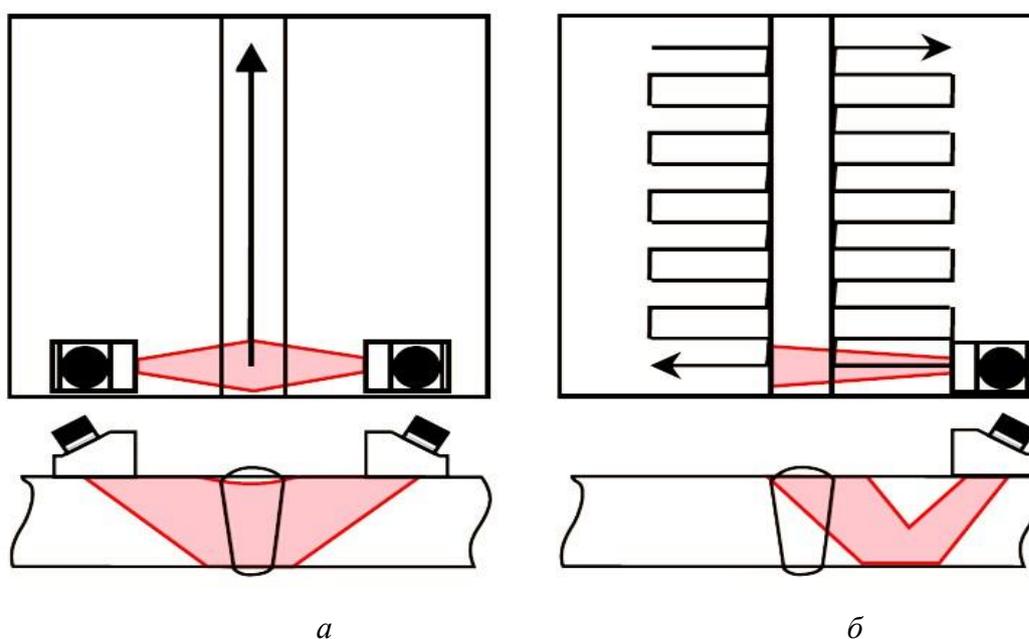


Рис. 3 – Траектория сканирования:

а – при УЗК на фазированных решетках, *б* – при обычном методе УЗК

На рисунке 4 представлены результаты УЗК обечайки с «35 механического завода». В левой части рисунка представлен график результатов сканирования. Из графика видно, что наиболее высокий импульс означает наличие трещины в сварном шве, более мелкие импульсы – это помехи.

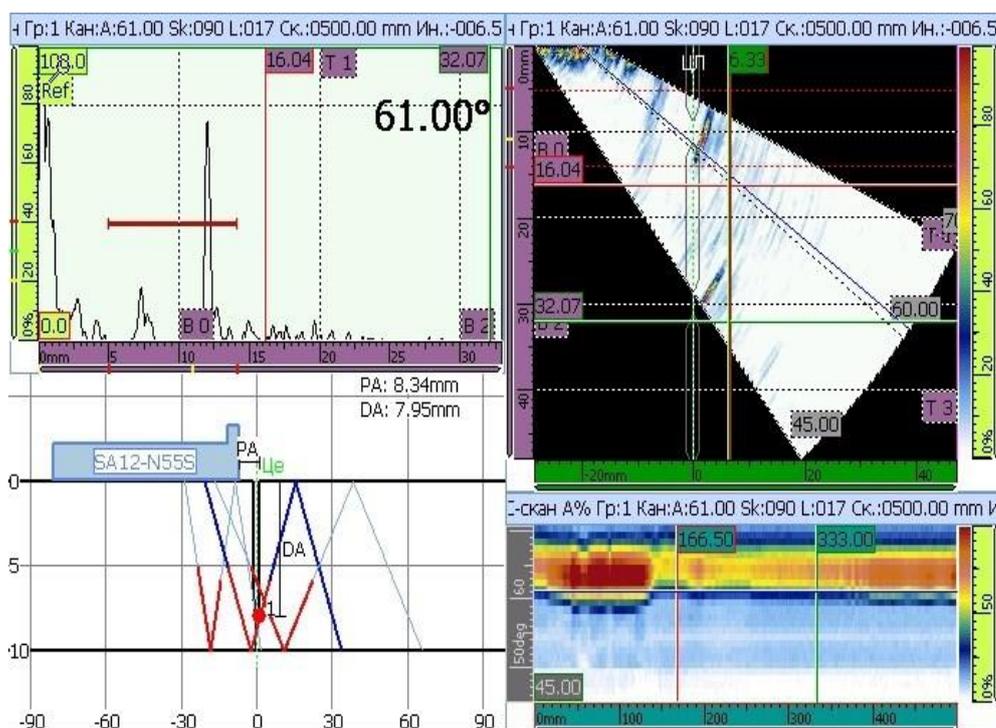


Рис. 4 – УЗК сварного шва обечайки

Использование УЗК на ФР позволяет:

- сократить время простоя оборудования;
- повысить достоверность и информативность контроля;
- выявлять и измерять дефекты на труднодоступных участках изделия;
- снизить дозовые нагрузки на персонал, выполняющий контроль

Выводы

Применение способа сварки «тандем» под флюсом, когда каждая из двух электродных проволок подключена к своему сварочному источнику и блоку управления (рис. 1), и в сварочном стыке одновременно перемещаются две дуги. Обеспечивает повышение производительности в 1.8-2 раза без снижения качества сварных соединений, по сравнению с классическим методом автоматической сварки под слоем флюса.

Выбор метода ультразвукового контроля качества сварных соединений с фазированными решетками, обеспечивает преимущества перед обычным УЗК как по эффективности выявления дефектов, так и по затратам времени на проведение контрольных операций.

Внедрение комплекса технологических решений посредством применения способа двухдуговой сварки под слоем флюса «тандем» и метода ультразвукового контроля качества сварных соединений с фазированными решетками в значительной мере способствует

повышению эффективности сварочных процессов и контроля качества сварных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Сварка двумя проволоками TANDEM. / [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.esab.ru/ru/ru/automation/process-solutions/saw/tandem-wire.cfm> (дата обращения: 17.12.2018).
2. Хедегард Х., Толф Э., Андерссон Й., Веман К. Повышение качества, производительности и универсальности процесса сварки Tandem-MAG // SVETSAREN. – 2005. – № 2. – С. 33–36.
3. Сварочные головки A6S и A6DSTandem. / [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.esab.ru/ru/ru/products/index.cfm?fuseaction=home.product&productCode=925> (дата обращения: 17.12.2018).
4. Коновалов Н.Н. Нормирование дефектов и достоверность неразрушающего контроля сварных соединений. – М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2006. – 111 с.
5. Радько В.И., Заплотнинский И.А., Галаненко Д.В. Выявление, идентификация и измерение размеров плоскостных дефектов с применением технологий TOFD // В мире неразрушающего контроля. – 2011. – № 1 (51). – С. 22–26.
6. Передовой опыт применения ультразвуковых фазированных решеток. // Olympus NDT. – 2007. – 369 с.

СОЗДАНИЕ МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ ДИСКОВОЙ ИГЛОФРЕЗОЙ, С УЧЕТОМ УГЛА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Кривоченков Ю.В., Блудов А.Н.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»)

bik029@mail.ru, qwerty09875511@gmail.ru

***Аннотация.** В работе разработаны и представлены схемы снятия припуска иглофрезой, а также схемы для определения геометрических параметров площади контакта иглофрезы с заготовкой. На основе установленных зависимостей был разработан алгоритм снятия припуска дисковой иглофрезой, который за счет учета влияния угла зоны контакта иглофрезы и заготовки позволит управлять припуском, и, следовательно, значительно повысить эффективность технологического процесса финишной обработки деталей.*

Ключевые слова: механическая обработка; иглофреза; припуск; микрорезы; площадь контакта.

CREATION OF A TECHNIQUE FOR PROCESSING WITH A DISC NEEDLE CUTTER, TAKING INTO ACCOUNT THE ANGLE OF INTERACTION

Krivochenkov Yu.V., Bludov A.N.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** The paper develops and presents schemes for removing the needle cutter allowance, as well as schemes for determining the geometric parameters of the contact area of the needle cutter with the workpiece. Based on the established dependencies, an algorithm for removing the allowance with a disc needle cutter was developed, which, by taking into account the influence of the angle of the contact zone of the needle cutter and the workpiece, will allow controlling the allowance, and, consequently, significantly increase the efficiency of the technological process of finishing parts.*

Keywords: mechanical processing; needle milling; allowance; micro-cutters; contact area.

Введение. В промышленности и строительстве самое широкое распространение получила иглофрезерная обработка поверхностей изделий. Она используется для снятия окалин, зачистки сварочных швов, исправления мелких дефектов поверхности. При иглофрезерной обработке используется специальный проволочный инструмент: конической формы – для торцевой обработки и цилиндрической формы для обработки периферией круга [1, 2].

В настоящее время разработаны методики назначения режимов иглофрезерной обработки, но так как чаще всего используется ручной инструмент с закреплённой в нём иглофрезой, эти рекомендации носят формальный характер, а режимы (частота вращения и сила прижима) подбираются работником. Наиболее важное значение имеет назначение режимов иглофрезерования при использовании специального или универсального оборудования, в этом случае от режимов зависят точность и качество получаемой поверхности [3, 4].

Процессы финишной обработки поверхностей как плоских, так и цилиндрических, иглофрезами, в настоящее время используются редко, так как не позволяют назначить режимы, с которыми можно выполнить гарантированный съём припуска с обрабатываемой поверхности, но при этом обеспечить не только качество (шероховатость) получаемой поверхности, но и обеспечит требуемый съём припуска. Особенно это относится к программному оборудованию, в том числе и робото-технологическим системам.

Таким образом разработка модели процесса снятия припуска при иглофрезеровании, выполненной в виде алгоритма процесса снятия припуска дисковой иглофрезой с учетом угла зоны контакта иглофрезы и заготовки, является актуальной задачей для машиностроительной отрасли, а её решение позволит значительно повысить эффективность технологического процесса финишной обработки деталей.

Оборудование, образцы, инструмент. Дисковая иглофреза представляет собой инструмент, предназначенный для механического съема припуска поверхности заготовки. Геометрическая форма дисковой фрезы – это тело вращения, рабочая часть которого образуется торцами единичных упругих микрорезцов (игл), изготовленных из высокопрочного материала.

Микрорезцы имеют определенную плотность набивки. На рис. 1 представлен один из вариантов дисковой иглофрезы, где микрорезцы 1, изготовленные из высокоуглеродистой стали, удерживаются с помощью двух шайб 2, которые соединены втулкой 3, развальцованной по краям.



Рис. 1 – Дисконая иглофреза

В некоторых источниках [5] утверждается, что торцы микрорезцов зашлифованы, для придания определенного угла резания, но рис. 2 опровергает эти утверждения, так как на фото четко видны неровности на поверхности торца единичного микрорезца, они скорее говорят не о шлифовании, а об износе проволочного элемента, который, скорее всего изготовлен из высокоуглеродистой стали [6].



Рис. 2 – Режущая часть микрорезцов дисконной иглофрезы

В настоящее время не существует стандарта или регламента на иглофрезы, по этой причине они изготавливаются по техническим условиям.

Например, согласно ТУ 3918-003-673231836-2011 изготавливаются иглофрезы цилиндрические, к которым можно отнести дисконные фрезы, где сказано, что рабочим инструментом фрезы служит жесткая щетка из проволочного ворса, то есть рабочим элементом тонкий упругий стержень, а о состоянии его торца ничего не сказано. По аналогии с абразивным инструментом, можно сделать вывод, что у иглофрезерного инструмента на уровне единичного элемента не существует геометрии режущего клина, и сьем припуска аналогичен сьему припуска абразивным инструментом.

В качестве назначения иглофрез производители указывают: срезание (удаление) дефектного слоя, удаление окалины, оксидных паяк, заусенцев, наплавов материала. Но ничего не сказано об обеспечении размерных характеристик получаемого изделия, то есть иглофреза предназначается для обеспечения качества поверхностного слоя получаемого изделия.

Описание процесса иглофрезерования. Рассмотрим процесс снятия припуска иглофрезой более подробно. На рис. 3 изображена схема снятия припуска единичным режущим инструментом, таким, как и при точении.

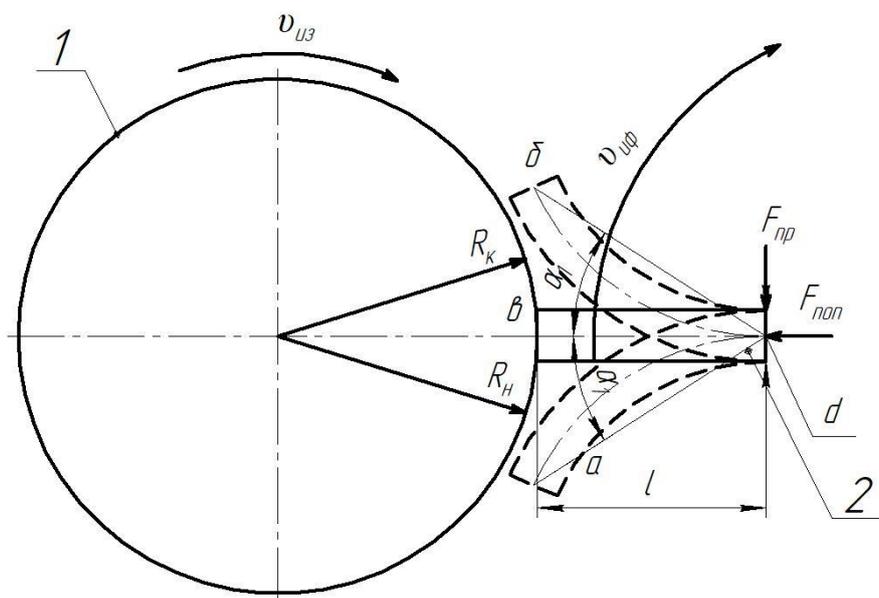


Рис. 3 – Схема снятия припуска единичным элементом иглофрезы:

1- заготовка, 2 - единичный элемент иглофрезы

Для обеспечения снятия припуска необходимо чтобы заготовка вращалась со скоростью V_3 , при этом, если единичный элемент не перемещается со скоростью $V_{\omega \phi}$. Процесс снятия припуска дисковой иглофрезой похож на процесс снятия припуска резцом при точении поверхности, но проволочный элемент имеет сечение, определяемое его диаметром d . При этом его длина значительно превышает диаметр, что вызывает значительный прогиб микрорезца, определяемый углом α_1 , что вызывает его перемещение в положение a , в котором он будет находиться постоянно, снимая припуск за счет трения своей боковой поверхностью о заготовку, что быстро вызовет его износ. Но если единичному элементу придать вращение относительно некоего центра, то в момент соприкосновения заготовкой, при угле α_1 в положение b начинается съём припуска, продолжающийся до положения $в$, в котором единичный элемент выпрямляется и сбрасывает с себя посторонний

материал (металл, грязь, СОЖ). В результате имеем скорость резания V_p , значительно превышающую скорость, получаемую только при вращении заготовки.

Зная геометрические характеристики единичного элемента можно найти единичную действующую силу P_{z1} :

$$P_{z1} = 0,073d^3 \cdot E \cdot \sqrt{k \cdot (2l_1 - i)} + \sqrt{i \cdot (D_u - k)} + d \quad , \quad (1)$$

где d – диаметр проволоки, мм; l_1 – длина единого элемента, мм; k – коэффициент натяга, $k < 1$; D_u – диаметр иглофрезы, мм; E – модуль упругости единого элемента, Мпа.

Несмотря на то, что наиболее очевидным является уточнение найденного значения P_{z1} по количеству ворсинок (или единых элементов) в пятне контакта, авторы [7] предлагают следующую формулу для определения силы P_z :

$$P_z = \frac{0,073d^3 \cdot h \cdot E \cdot \sqrt{k \cdot (2l - k)} \cdot \sqrt{k \cdot (D - k)} + d}{l^3 \cdot \sqrt{l + \frac{k(2l - k)}{(l - k)^2}}} \cdot k_y \cdot k_\phi \quad , \quad (2)$$

где h – ширина режущей части фрезы, мм;

k_y – коэффициент, учитывающий упругость зажима режущих элементов,

$k_y < 1$;

k_ϕ – коэффициент формы, $k_\phi < 1$.

Анализ различных работ [**Error! Reference source not found.**-4] показал что, применяя формулу 1, не учитывается ряд таких факторов как:

- количество, или плотность элементов по ширине фрезы;
- количество, или плотность элементов по длине фрезы;
- форма элемента длине, например, производители, чтобы уменьшить упругость элемента, по длине выполняют его в виде змейки, тем самым увеличивая его стойкость.

Главным в формуле 2 является то, что она в общем выражает теорию процесса снятия припуска иглофрезой.

Рабочая длина каждого элемента иглофрезы изменяется в зависимости от расстояния OO_1 , поэтому можно рассчитать площадь контакта иглофрезы с поверхностью заготовки, согласно схеме, изображенной на рис. 4.

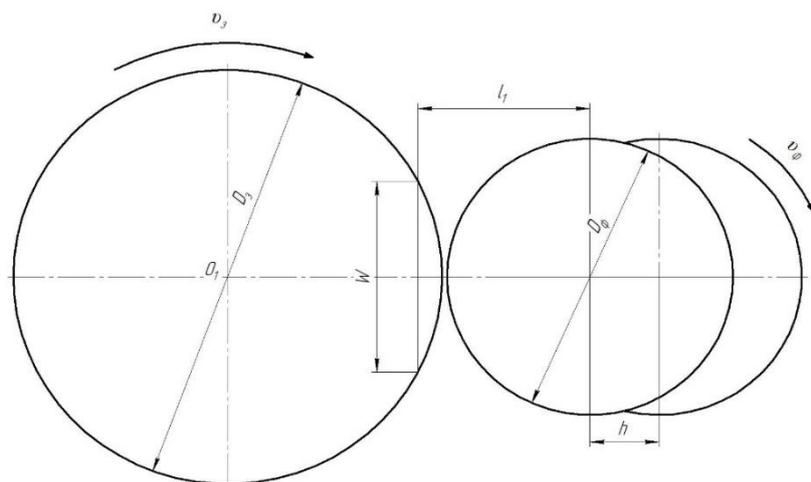


Рис. 4 – Схема для определения площади контакта иглофрезы

Площадь контакта иглофрезы (S) определяется площадью участка, имеющего длину (W) и ширину (h) и может быть рассчитана по формуле (3):

$$S = W \cdot h, \quad (3)$$

Исходя из расстояния OO_1 и радиусного изгиба единичного режущего элемента длиной l расчетную схему для определения высоты контакта в профиле можно представить [8], как на рис. 6.

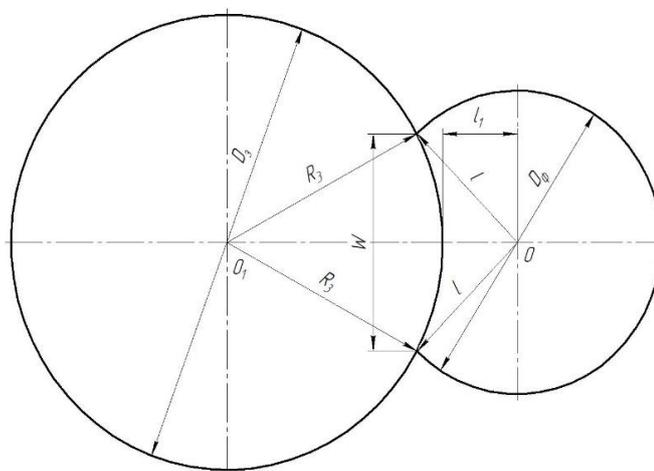


Рис. 5 – Схема для расчета высоты контакта в профиле

Рассчитываем длину W площади контакта и рабочую длину единичного элемента - l_1 :

$$l_1 = OO_1 - R_3 \quad (4)$$

где R_3 – радиус заготовки, мм.

Значение R_3 не показывает формы изгиба единичного режущего элемента, и не является значением для расчета W , по этой причине составим систему уравнений (5), позволяющую найти точку пересечения R_3 и l :

$$\begin{cases} R_3^2 - y^2 - x^2 = 0 \\ R_\phi^2 - y^2 - (OO_1 - x)^2 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

таким образом решение системы уравнений (5), в котором неизвестными являются x и y , позволят найти y .

При этом W можно рассчитать по формуле (6):

$$W = 2y. \quad (6)$$

Раскроем скобки во втором уравнении системы (7), заменив: $OO_1^2 = 4$

$$\begin{cases} R_3^2 - y^2 - x^2 = 0 \\ R_\phi^2 - 4y^2 + 24x + x^2 = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Выполнив элементарные преобразования и подстановку получаем:

$$-2x_2 - 8\sqrt{x_2 + R} - 14 - R = 0 \quad (8)$$

Представим, что координаты точки пересечения окружностей, определяющих значение W , изменяются от некоторого значения, определяемого диаметром заготовки и диаметром фрезы, для чего составим новую схему, представленную на рис. 6.

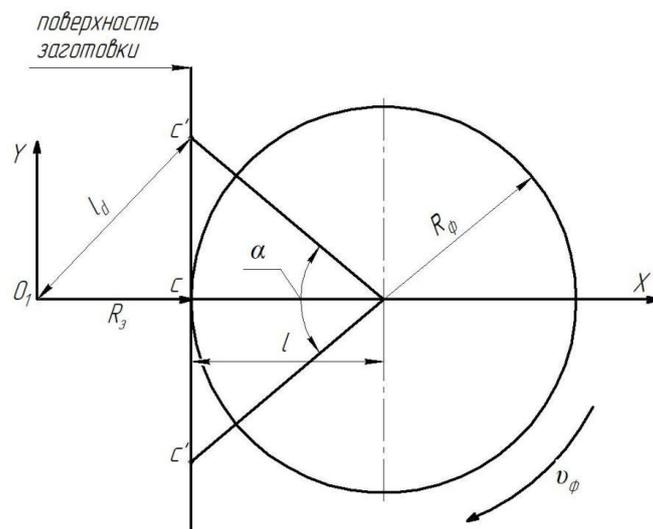


Рис. 6 – Схема пятна контакта на плоской поверхности

Согласно этой схеме, в качестве первоначального условия примем, что поверхность заготовки не криволинейна, а прямая, но существует некая точка O_1 , от которой отсчитывается расстояние до центра вращения фрезы.

Радиус фрезы R_ϕ в точке контакта фрезы и заготовки, лежащей на оси x имеет минимальное значение, т.е. l - рабочую длину, снова равным R_ϕ он становится в точке C^{\parallel} , при этом он начинает уменьшаться с R_ϕ до l в точке C^{\prime} . Если имеем плоскую поверхность заготовки, то легко можно вычислить координаты x и y точек выхода и входа фрезы, таким образом имеем:

$$x = OO_1 - R_3 \quad (9)$$

$$y = \sqrt{(R')^2 - (OO_1 - R_3)^2} \quad (10)$$

А теперь составим аналогичную рис. 7 схему, но для криволинейной поверхности заготовки с неким радиусом R_3 , согласно рис. 7. Если, согласно рис. 6 проекция радиуса $R' = R_\phi$ на ось x всегда будет равна l , то по схеме на рис. 7, эта величина меняется по мере изменения угла α фрезы и угла β заготовки, а в этом случае остается только один - вычислительный метод вычисления координат контакта R'_3 и R'_ϕ , то есть сравнение результатов статистических вычислений координат точки контакта на выходе фрезы, заготовки и единичного режущего элемента фрезы, то есть следует задаться точностью вычислений.

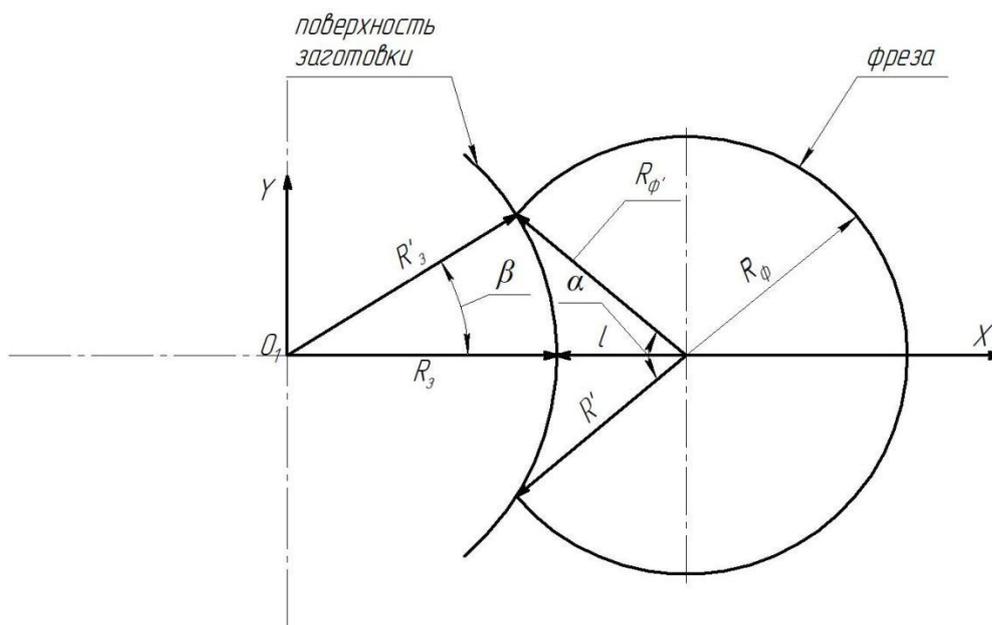


Рис. 7 – Расчетная схема для криволинейной поверхности заготовки с радиусом R_3

Точность при иглофрезерной обработке (δ) зависит от:

1) колебаний припуска на поверхность заготовки (δ_3):

$$\delta_3 = R_{3max} - R_{3min}, \quad (11)$$

R_{3max}, R_{3min} – максимальное и минимальное значение радиуса заготовки, мм;

2) колебаний свободной длины единичного режущего инструмента, которое влияет на радиус фрезы (δ_ϕ):

$$\delta_\phi = R_{\phi max} - R_{\phi min}, \quad (12)$$

$R_{\phi max}, R_{\phi min}$ – максимальное и минимальное значение радиуса фрезы, мм;

3) точности установки заготовки и режущего инструмента, то есть отклонению длины OO_1 , что определяется точностью оборудования, и этим параметром можно пренебречь.

Опишем порядок вычисления длины площади контакта - W .

Исходные данные для расчета W : R_3 - радиус заготовки, или радиус фрезы R_ϕ , мм, $\delta_{R\phi}$ максимальное отклонение на радиус фрезы, мм. Это отклонение определяется отклонением длин проволок (или единичных элементов) иглофрезы и может быть измерено фактически, как это показано на рис 8, или взять из данных производителя инструмента, что затруднительно, так как производитель скрывает этот параметр.

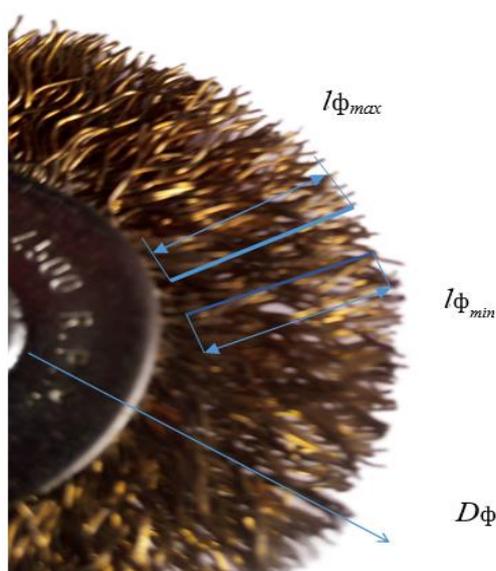


Рис. 8 – Геометрические параметры фрезы диаметром 50 мм

Измерение значения $l_{\phi max}=11$ мм, $l_{\phi min}=10$ мм, определяют диаметр $D=50 \pm 2$ мм, то есть согласно измерениям: $R_\phi = 25 \pm 1$ мм, таким образом имеем $R_{\phi max} = 26$ мм, $R_{\phi min} = 24$ мм. Минимальный и максимальный радиус заготовки определяется допуском на отклонение диаметра, допуском на отклонение формы, размером дефектов на поверхности заготовки, согласно рекомендациям из [9] радиус заготовки составляет $R_{3min} = R_{cp} - 0,5$ мм, $R_{3max} = R_{cp} + 0,5$

мм. Заданная диаметром заготовка $D_3=200$ мм, таким образом минимальный радиус заготовки $R_{3min}=99,5$ мм, максимальный радиус заготовки $R_{3max}=100,5$ мм.

Перед началом расчетов устанавливаем шаг измерений угла иглофрезы δ_α и шаг изменения угла заготовки δ_β , определяем максимальное количество шагов из условия допустимого изменения рабочей длины единичного режущего элемента $l_{доп}$, чаще всего определяемого производителем или по расчетам из [10]. Все же стоит воспользоваться рекомендациями по назначению рабочей длины из [9], где рекомендательный коэффициент для дисковой (цилиндрической фрезы) составляет $k_{max}\approx 0,85$, таким образом для заданной l имеем: $l_{min}=9\cdot 0,85=7,65$ мм, при этом угол α_{max} :

$$\alpha_{max} = \arccos \frac{l_{min}}{R_{\phi min}} = \arccos \frac{15 + 7.65}{24} = 19,308^\circ \quad (13)$$

Таким образом:

$$y_{max} = R_{\phi min} \cdot \sin \alpha_{max} \approx 24 \cdot \sin 19,308^\circ \approx 7,93 \text{ мм} \quad (14)$$

Затем вычислим максимальный угол β_{max} для заготовки:

$$\beta_{max} = \arcsin \left(\frac{y_{max}}{R_{3min}} \right) = \arcsin \left(\frac{7,93}{99,5} \right) = 4,5^\circ \quad (15)$$

Назначим шаг перемещения:

$$\alpha_t = \frac{\alpha_{max}}{t}, \quad (16)$$

где t - количество шагов для расчета угла α . Назначим $t=100$, тогда $\alpha_t \approx 0,2^\circ$.

Аналогично назначим i для угла β , тогда $\beta_i \approx 0,05^\circ$, i шаг изменения β .

Расчет начинаем с минимального значения угла, или $t=1$. Вычисляем угол α при первом шаге, затем определяем координату $Y_{i\alpha}$, для шага i шага, по формуле (17):

$$Y_{i\alpha} = R_\phi \cdot \sin(\alpha_t \cdot t), \quad (17)$$

где t - текущий номер шага угла α .

Далее определяем координату $Y_{i\beta}$:

$$Y_{i\beta} = R_3 \cdot \sin(\beta_i \cdot i), \quad (18)$$

где i - текущий шаг для β .

Прочет координаты $Y_{i\beta}$ выполняем до тех пор, пока соблюдается условие (19):

$$\begin{cases} |Y_{t\alpha} - Y_{i\beta}| > \delta_{R_\phi} \\ |X_t - X_i| > \delta_{R_3} \end{cases}, \quad (19)$$

Как только достигаем условия - сохраняем в переменной ii значение шага, на котором было соблюдено условие 7, затем изменяем (увеличиваем) значение t на 1, и повторяем цикл поиска значений до координат для заготовки по условию 7.

При этом поиск для i начинаем не со значения $i=0$, а со значения $i=ii$, сокращая таким образом время расчета значений. Изложенное выше абстрактное описание представлено на рис. 9 в виде блок-схемы самого алгоритма.

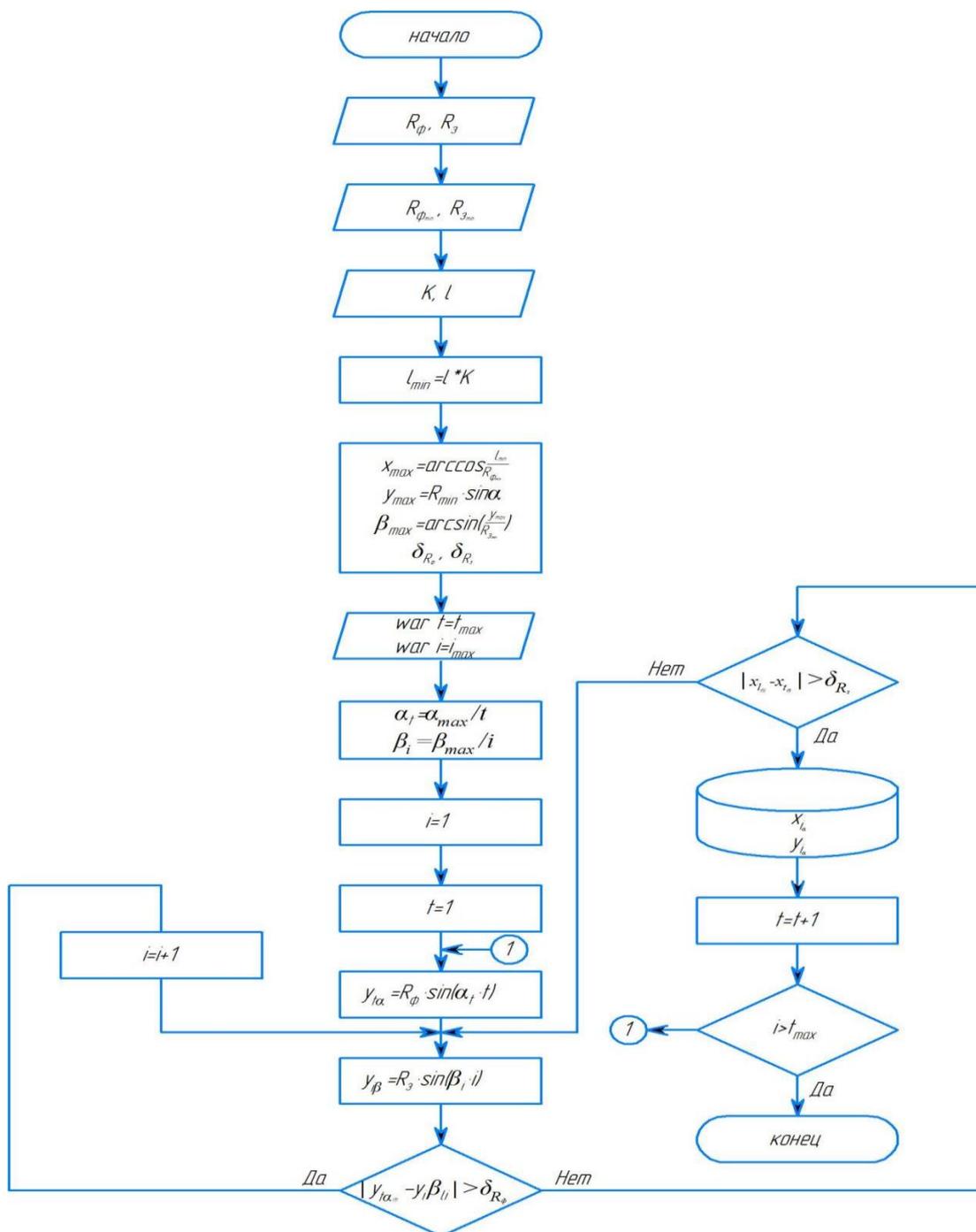


Рис. 9 – Блок-схема алгоритма процесса снятия припуска дисковой иглофрезой с учетом угла зоны контакта иглофрезы и заготовки

Заключение. Представленный в работе алгоритм позволит учесть влияние угла зоны контакта иглофрезы и заготовки, и определить значения максимальных углов контакта иглофрезы и заготовки. Реализация разработанного алгоритма даёт возможность управлять припуском, и, следовательно, значительно повысить эффективность технологического процесса финишной обработки деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Абугов А.Л. Обработка деталей иглофрезерованием и поверхностным пластическим деформированием перед нанесением антикоррозионных покрытий [Текст] / А.Л. Абугов, И.Л. Баршай // Прогрессивные методы и средства защиты металлов и изделий от коррозии. - 1988. - № 3. - С. 162-164.
2. Абугов А.Л. Экспериментальное исследование динамики микрорезания при иглофрезеровании [Текст] / А.Л. Абугов, И.Л. Баршай, Е.Э. Фельдштейн // Известия вузов. Машиностроение. - 1987. - №8. - С. 140-142
3. Моисеев Е.Ф. Влияние формы передней поверхности микрорезца иглофрезы на составляющие силы резания [Текст] / Е.Ф. Моисеев, А.С. Ямников, О.А. Ямников // Известия ТулГУ. Технические науки. - 2015. - № 12(1). - С. 136-144.
4. Yuan Xi. Brush Grinding Aluminum Alloy Mechanism Of Single Steel Wire Based On Finite Element Approach / Xi. Yuan, Ch. Wang, Q. Sun, Li. Zhao// Precision Advances in Mechanical Engineering. 2021. V. 13. P. 168–178.
5. Лаврентьев А.М. Анализ способов обработки наружного диаметра длинномерных тонкостенных труб [Текст] // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 12-1. – С. 89-94.
6. Соловьев А.И. Отделочно-зачистная обработка в условиях автоматизированного производства [Текст] / А. И. Соловьев, Ш. И. Джафарова, Л. В. Савельева // Технология машиностроения. – 2019. – № 8. – С. 13-18.
7. Салуквадзе В.С. Иглофрезерная обработка поверхности металла [Текст] / В.С. Салуквадзе, В.М. Коптев // Экспресс-информация. Серия ХМ-9. - 1986. - № 2. С. 8-10.
8. Чепчуров М.С. Оценка состояния оборудования технологической системы на основе расчетов напряженно-деформированного состояния [Текст] / М.С. Чепчуров, В.Я. Дуганов// Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2016. - № 11. - С. 20-23.
9. Вороненко В.П. Параметры резания при иглофрезеровании [Текст] / В.П. Вороненко, М.И. Серых // Известия МГТУ «МАМИ». – 2009. - № 2(8). - С.192-195.

10. Numerical and Experimental Research on the Brushing Aluminium Alloy Mechanism Using an Abrasive Filament Brush / Xi. Yuan, Ch. Wang, Q. Sun Li. Zhao // *Materials*. - 2021. V. 14 (21). P. 157–164.

11. Chetverikov B. S. Automation of component selection of ball-bearing support of drilling bit / B. S. Chetverikov, M. S. Chepchurov, I. A. Teterina // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2017. – Vol. 90, No. 1-4. – P. 1059-1065.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЗЕРВА AVR-6 кВ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Быков А.А., Кухарев С.Д.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»)

***Аннотация.** Средства сетевой автоматики, к которым относится АВР, играют большую роль в системах электроснабжения предприятий. Для этого вида автоматики важную роль играет сокращение времени восстановления питания, если оно по какой-либо причине было прервано. В статье, как раз, вносятся предложения по этому параметру. Способов для этого несколько и некоторыми из них является внедрение в эксплуатацию выключателей с хорошими временными параметрами. Важно так же применение современных пусковых устройств в схемах сетевой автоматики.*

Ключевые слова: АВР – автоматическое включение резерва; БАВР – блок автоматического включения резерва; ВВ – вакуумный выключатель; СП – схема пуска.

IMPROVEMENT OF THE SCHEME OF AUTOMATIC ACTIVATION OF THE AVR-6 kV RESERVE IN THE POWER SUPPLY SYSTEM OF MINING ENTERPRISES

Bykov A.A., Kukharev S.D.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** The means of network automation, which include AVR, play an important role in the power supply systems of enterprises. For this type of automation, an important role is played by reducing the power recovery time if it has been interrupted for any reason. The article just makes suggestions on this parameter. There are several ways to do this, and some of them are the commissioning of switches with good time parameters. It is also important to use modern starting devices in network automation circuits.*

Keywords: AVR – automatic switching on of the reserve; BAVR – automatic switching on of the reserve; ВВ – vacuum switch; SP – start circuit.

Рассматривается способ сокращения времени восстановления питания на секциях шин распределительных подстанций. Увеличение быстроты действия схемы сетевой автоматики в

виде автоматического включения достигается применением в силовой части электроустановки современного вакуумного выключателя с хорошими временными характеристиками. Для контроля параметров сети и для управления схемой автоматики предлагается использовать микропроцессорный блок БАВР 072. Применение названного оборудования позволит в схемах электроснабжения комбината выполнить восстановление напряжения на потерявшей питание секции шин в течение 0,2 секунды.

Для уменьшения времени действия АВР необходимо на подстанциях со стороны ЗРУ 6 кВ на вводах и секционных выключателях установить вакуумные выключатели 6 кВ с хорошими временными параметрами.

Для управления выключателями принимаем микропроцессорные блоки управления, которые будут управлять выключателями в схемах автоматики. В сетях 6 кВ горных предприятий еще находится большое количество масляных выключателей с различными типами приводов: ВК-10, ВМП-10, ВМПЭ-10, МГГ-1- и другие.

Вакуумный выключатель последних разработок серии ВР1, изготавливаемого ЗАО «Высоковольтный союз» г. Екатеринбург, имеет наименьшие времена включения и отключения и это определяет наш выбор.

Высокая надежность работы устройств сетевой автоматики достигается применением современных микропроцессорных блоков управления типа «БАВР». Устройство автоматического включения резерва должно находиться в состоянии полной готовности к работе, и действовать при потере питания потребителем по любой причине. При этом на другом, резервном источнике питания, напряжение должно быть нормальным. Кратко опишем принцип действия устройства автоматического резервного питания на примере двух трансформаторной подстанции, например ПС №24 напряжением 35/6 кВ, схема которой изображена на рисунке 1.

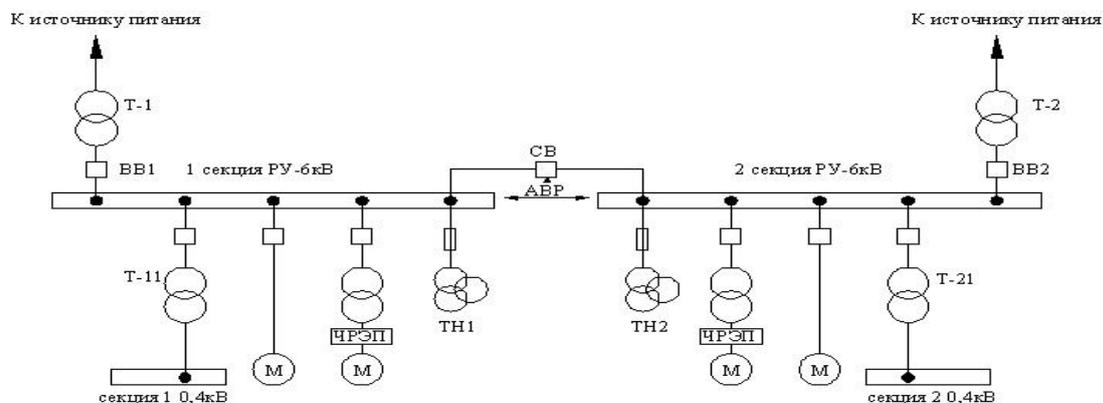


Рис. 1 – Однолинейная схема распределительной подстанции с устройством АВР

От существующих на подстанциях комбината устройств автоматики они отличаются наличием в силовой схеме подстанции быстродействующих коммутационных аппаратов и микропроцессорных блоков управления схемой АВР.

Внешний вид выключателя предлагаемого для усовершенствованной схемы АВР изображен на рисунке 2.

Предлагается на объектах электроснабжения комбината установить комплекс быстродействующего АВР БАВР 072БАВР 072 ООО «НПК Промир». Пусковое устройство БАВР 072 является блоком противоаварийной автоматики, каким является АВР, и обеспечивает двухстороннее действие на отключение выключателей вводов и на включение секционного выключателя.



Рис. 2 – Внешний вид выключателя ВР1

Собственное время действия на аварийные режимы в сети высокого напряжения большинства пусковых устройств автоматики, как правило, превышает 20–30 мс, а время работы выключателей обычно колеблется в диапазоне 50–200 мс. В результате переключение на резервный источник питания не всегда происходит достаточно быстро для сохранения нагрузки в работе. Применение быстродействующих выключателей исключает эти проблемы.

Предлагаемый блок управления для схем АВР контролирует наличие напряжения на секциях шин и его величину. Сам блок БАВР своими внешними цепями подключается к измерительным трансформаторам напряжения и к трансформаторам тока.

Использование блока БАВР 072 позволяет производить переключение потребителей на резервный источник электроэнергии за максимально короткое время, которое находится в зоне нечувствительности оборудования, установленного у большинства потребителей.

Функциональная схема АВР рабочего ввода приведена на рисунке 4. Вывод функции АВР осуществляется программной накладкой XB5_АВР через ИЧМ или переключателем «SA Вывод АВР», который по умолчанию представлен на лицевой панели терминала в виде электронного ключа SA7.

При снижении междуфазных напряжений ниже уставки контроля отсутствия напряжения обеспечивается пуск АВР с выдержкой времени DT5 АВР. Контроль отсутствия напряжения производится в зависимости от положения программной накладки XB2 КН. При работе АВР по факту отключения выключателя ввода подаётся команда на включение секционного выключателя (выключателя резервного ввода). Предусмотрен контроль наличия напряжения на смежной секции шин или на резервном вводе по сигналу «Разрешение ЗМН».

Сигналом «Аварийное отключение» производится пуск схемы АВР при аварийном отключении выключателя, вследствие формирования «цепи несоответствия» (наличие сигналов РФК и РПО).

Схема АВР имеет регулируемые параметры времени готовности DT3 АВР и срабатывания DT5 АВР и обеспечивает однократность его действия.

Контроль готовности схемы АВР к действию производится с выдержкой времени DT3 АВР по сигналу от РПВ. Выдержка времени DT3 АВР обнуляется при появлении сигнала «Запрет АВР», а также при формировании сигнала пуска АВР с выдержкой времени. При формировании сигнала пуска АВР с соответствующей выдержкой времени, а также сигнала готовности, обеспечивается однократный импульсный сигнал «Включение от АВР» на включение секционного выключателя или выключателя резервного ввода.

Отметим преимущества использования микропроцессорных устройств в схеме автоматического включения резерва. Устройства защиты и сетевой автоматики, которые предлагаются в данной статье, повышают надежность электроснабжения, улучшают возможности сетевой автоматики и сигнализации на подстанции.

Устройства обеспечивают хорошую надежность работы сетевой автоматики, необходимое быстрое действие, высокую точность контроля электрических величин.

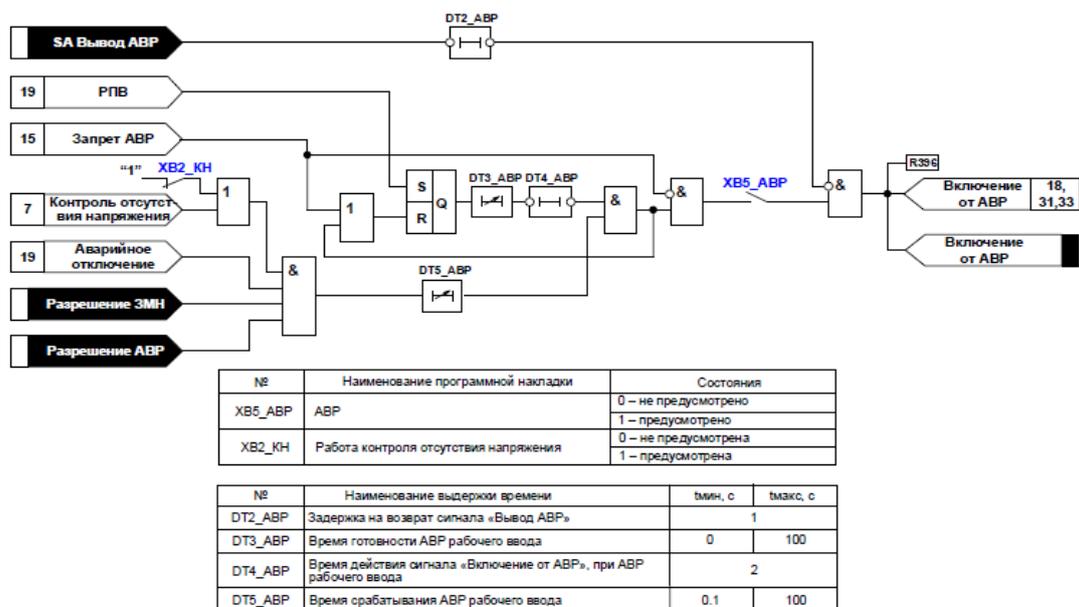


Рис. 3 – Функциональная схема АВР

Современные микропроцессорные устройства обладают следующими эксплуатационными возможностями:

- дистанционный ввод и хранение величины параметров работы защиты и автоматики;
- передачу информации об аварии, дистанционный ввод и изменение параметров работы по каналам связи;
- блокировку всех выходов при неисправности устройства для исключения ложных срабатываний;
- непрерывный оперативный контроль работоспособности оборудования.

При эксплуатации микропроцессорных устройства увеличивается время между техническими обслуживаниями изделий вторичной коммутации, а это позволяет выполнить сокращению трудозатрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новое электрооборудование в системах электроснабжения/ Справочник. Составитель – Ополева Г.Н. – Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2013. – 194 с.
2. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем: Учебник для вузов / Под ред А.Ф. Дьякова – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2000, 504с., ил.
3. Иванов А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие / А.А. Иванов. – М.: ФОРУМ. – 2012 с. – (Высшее образование).

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКОДИСПЕСНЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Жоау А.А., Шведов И.М.

Университет науки и технологий МИСИС, Горный институт, 119049, Россия, Москва,

fgp_proekt@mail.ru

***Аннотация.** Выполнен анализ методов определения удельной поверхности глинистых грунтов. Показаны возможности и недостатки существующих методов, применительно к тонкодисперсным и обводненным грунтам. Приведены результаты исследования топографии поверхности образцов глинистого грунта и его элементного состава.*

Ключевые слова: анализ методов; удельная поверхность; глинистые грунты.

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF EXISTING METHODS FOR DETERMINING THE SPECIFIC SURFACE AREA OF FINE CLAY SOILS

Joau A.A., Shvedov I.M.

National University of Science and Technology "MISIS", Mining Institute, Moscow, 119049, Russian, Moscow

***Abstract.** The analysis of methods for determining the specific surface area of clay soils is performed. The possibilities and disadvantages of existing methods in relation to finely dispersed and watered soils are shown. The results of the study of the topography of the surface of clay soil samples and its elemental composition are presented.*

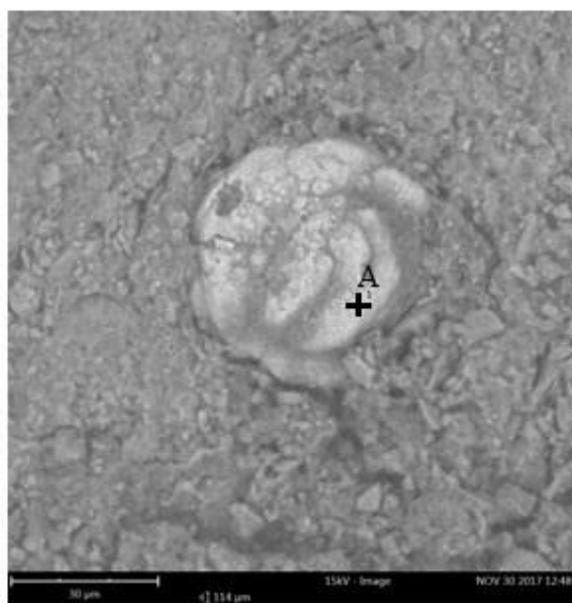
Keywords: analysis of methods; specific surface area; clay soils.

Добыча полезных ископаемых в странах Африканского континента открытым способом осложняется особыми геологическими и климатическими условиями [1]. В сезон дождей песчано-глинистые вскрышные породы сильно увлажнены, основу которых составляют тонкодисперсные глинистые грунты, что создает трудности в формировании отвалов, обеспечении их устойчивости, поэтому важной задачей является развитие методов контроля за геомеханическим состоянием обводненных массивов. Одним из способов оценки устойчивости таких отвалов является определение удельной поверхности грунтов, так как этот параметр напрямую связан с такими характеристиками, как водопроницаемость, сцепление частиц и взаимодействие минеральных частиц с водой. Удельная поверхность –

это важная структурная характеристика дисперсных грунтов, зависящая от размера и формы частиц, определяет пористость, адсорбционную и сорбционную способности и поверхностную энергию грунтов, что позволяет оценить устойчивость грунта к механическим воздействиям.

Глинистые грунты имеют высокую удельную поверхность из-за наличия в их составе мелких частиц, таких как ил и коллоидные минералы (размеры частиц до 1 мкм). Чем выше удельная поверхность, тем больше возможностей для адсорбции воды и растворенных веществ, что напрямую влияет на такие характеристики, как пластичность, водопроницаемость и несущая способность грунта.

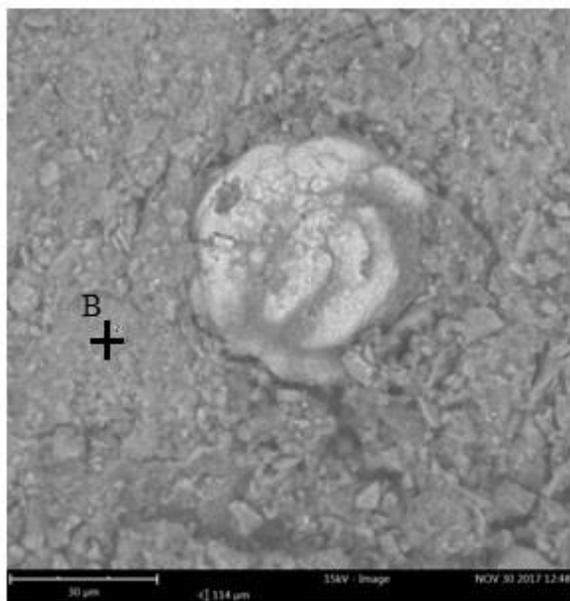
Предварительно были проведены исследования топографии поверхности сухих образцов глинистого грунта на сканирующем электронном микроскопе Phenom ProX с интегрированной энергодисперсионной системой элементного анализа. Рабочее ускоряющее напряжение 15 кВ. Режим рентгеновского картирования обеспечивает получение информации о спектре образца в любой заданной точке поверхности. Поддерживаемый рабочий уровень вакуума позволяет исследовать непроводящие образцы без предварительного напыления поверхности. Образцы грунтов предварительно высушивались в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С. Фрагменты поверхности образцов и результаты энергодисперсионного анализа приведены на рисунках 1 и 2.



Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	73.44	51.00		
Fe	14.33	34.72	Fe	70.86
Si	4.94	6.02	Si	12.29
Al	3.76	4.40	Al	8.98
Ca	0.70	1.22	Ca	2.49
P	0.84	1.13	P	2.31
C	1.59	0.83	C	1.69
K	0.40	0.67	K	1.38

FOV: 114 μm, Mode: 15kV - Image, Detector: BSD Full

Рис. 1 – Результаты элементного анализа включения в образце грунта (точка А).



Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
O	70.94	57.00		
Si	13.76	19.40	Si	45.12
Al	9.34	12.65	Al	29.42
K	1.74	3.42	K	7.96
Fe	0.94	2.65	Fe	6.15
Ca	0.62	1.26	Ca	2.92
Mg	1.01	1.23	Mg	2.86
P	0.68	1.05	P	2.44
Na	0.79	0.91	Na	2.12
Ti	0.18	0.43	Ti	1.00

FOV: 114 μm, Mode: 15kV - Image, Detector: BSD Full

Рис. 2 – Результаты элементного анализа поверхности грунта (точка В).

Продемонстрированные образцы глинистых грунтов представляют в основном смесь SiO_2 , Al_2O_3 с включением оксидов железа, предположительно группы маггемита $\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$. Размер включений составляет порядка 100 мкм, на фоне тонкодисперсных фракций до 1 мкм.

Высокая удельная поверхность может свидетельствовать о том, что грунт будет сильно взаимодействовать с водой, приводя к следующим последствиям:

1. Увлажнение и расширение частиц. Частицы с высокой удельной поверхностью обладают способностью поглощать воду, что может вызвать их набухание. Это приведет к увеличению объема и снижению плотности грунта, что может повлиять на устойчивость отвала, особенно в условиях вертикального давления, создаваемого массой грунта.

2. Изменение адгезионных свойств. Удельная поверхность также влияет на физико-химические процессы, такие как адсорбция воды и растворение веществ. В сильно увлажненных грунтах может изменяться прочность сцепления между частицами, что, в свою очередь, может ослабить прочность материала и увеличить риск разрушения.

3. Риск фильтрации и эрозии. Грунты с высокой удельной поверхностью обладают хорошими фильтрационными свойствами, что может привести к вымыванию частиц и ослаблению структуры отвала. Это также увеличивает вероятность деградации материала и его неспособности выдерживать нагрузку.

В настоящее время известны методы определения удельной поверхности и дают надежные результаты для супесчаных, пылеватых грунтов, это методы стационарной и

нестационарной фильтрации, метод капиллярной пропитки, адсорбционные методы и ряд других [2-7].

Наиболее распространенные из них:

1. Метод БЕТ (Брунауэр, Эммет и Теллер). Этот метод основан на физико-химическом процессе адсорбции газа (чаще азота) на поверхности твердых частиц. В ходе эксперимента измеряют объем адсорбированного газа при различных давлениях, что позволяет рассчитать удельную поверхность по уравнению БЕТ. Преимущества метода – высокая точность, возможность получения данных для частиц с очень малым размером, включая коллоидные частицы. Недостатки – требуется специализированное оборудование, включая систему низкотемпературной адсорбции газа. Метод также может быть чувствителен к влажности образца, что требует тщательной подготовки образца перед измерениями.

2. Метод ртутной порометрии. Применяется для определения удельной поверхности, а также пористости и других структурных характеристик грунта. Ртуть, которая не проникает в поры с диаметром менее 0,004 мм, позволяет измерить пористость и вычислить удельную поверхность на основе давления, необходимого для проникновения ртути в поры. Преимущества метода - позволяет измерять не только удельную поверхность, но и пористость, что может дать более полное представление о структуре грунта. Недостатки – ртуть токсична, и этот метод требует строгих мер безопасности. Также результаты могут быть искажены, если поры материала связаны с образованием гидратных оболочек при увлажнении.

3. Метод лазерной дифракции. Позволяет измерять размер частиц грунта, а также их распределение. Особенно полезен для анализа глинистых грунтов, так как он может точно измерять размер мельчайших частиц. Преимущества метода – быстрое и эффективное получение данных, высокая точность при измерении размеров частиц. Недостатки – требует использования специального оборудования, а также может быть менее точным для оценки конкретной удельной поверхности в случае сложных взаимодействий между частицами (например, с учетом влаги).

4. Метод динамического светорассеяния (DLS). Этот метод позволяет измерить размеры коллоидных частиц и их распределение в жидкости. Он применяется для грунтов, содержащих мелкие коллоидные частицы, которые могут взаимодействовать с водой. Преимущества: позволяет изучать коллоидные и наночастицы в водной среде, что полезно для исследования обводненных глинистых грунтов. Недостатки – метод не всегда дает точные результаты для крупных частиц или сильно агрегированных структур.

Анализ показывает, что для определения удельной поверхности обводненных тонкодисперсных глинистых грунтов целесообразно использовать комплексный подход. Такой подход требует обоснования применения несколько методов, которые позволяют не только оценить удельную поверхность сухих частиц, но и учесть влияние влаги на физико-химические свойства материала.

Поэтому разработка комплексного способа определения удельной поверхности высокодисперсных глинистых грунтов представляет актуальную научную задачу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Шведов И.М., Жоау А.А. Анализ развития коррозии горного оборудования, работающего в сложных климатических и горно-геологических условиях Анголы. Новые идеи в науках о Земле. Материалы XVI Международной научно-практической конференции. Москва, 2023, с. 332–335.
2. Носенко А.А., Половнева С.И. Методы и устройства для измерения удельной поверхности дисперсных материалов. // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2017, №2, т.7, с. 113 -121.
3. ASTM D4567-03(2008). Standard test method for single-point determination of specific surface area of catalysts and catalyst carriers using nitrogen adsorption by continuous flow method.
4. Ren T. Application of voltage in dynamic light scattering particle size analysis// Journal Vis. Exp.- 2020/ -vol 155, N 1/ - pp. 257 – 272.
5. ISO FDIS 9277, Determination of the Specific.
6. Surface Area of Solids by Gas Adsorption BET Method, 2009.
7. <https://archive.sympatec.com/RU/LaserDiffraction/LaserDiffraction.html>

УНИВЕРСАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА НА ПРОВОДАХ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ И КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Козырев П.И., Сергеев И.А.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»)

*309186 Российская Федерация, Белгородская обл. г. Губкин, ул.Комсомольская,16
coziREW.p@yandex.ru*

***Аннотация.** На высоковольтных линиях электропередач в осенне-зимний период при неблагоприятных погодных условиях возникают гололедные образования, которые могут привести к тяжелым авариям (коротким замыканиям, обрывам фазных проводов, повреждению опор). Для предупреждения аварийных ситуаций на линиях электропередачи напряжением выше 110 кВ применяются установки плавки гололеда на постоянном токе, которые имеют существенные недостатки – наличие дорогостоящего источника постоянного тока, который используется только в осенне-зимний период на относительно короткое время плавки гололеда, а остальное время года простаивает. Для устранения этого недостатка предлагается применить универсальную установку в осенне-зимний период для плавки гололеда, а в остальное время года использовать аппаратуру установки в качестве компенсации реактивной мощности.*

Ключевые слова: высоковольтная линия электропередач; установки плавки гололеда на постоянном токе; универсальная установка для плавки гололеда и компенсации реактивной мощности.

UNIVERSAL INSTALLATION FOR MELTING ICE ON POWER LINE WIRES AND REACTIVE POWER COMPENSATION

Kozyrev P.I., Sergeev I.A.

*Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16
coziREW.p@yandex.ru*

***Abstract.** Icy formations occur on high-voltage power lines in the autumn-winter period under adverse weather conditions, which can lead to severe accidents (short circuits, breaks in*

phase wires, damage to supports). To prevent emergencies on power lines with a voltage above 110 kV, direct current ice melting installations are used, which have significant disadvantages – the presence of an expensive direct current source, which is used only in autumn and winter for a relatively short time of melting ice, and the rest of the year is idle. To eliminate this disadvantage, it is proposed to use a universal installation in the autumn-winter period for melting ice, and in the rest of the year to use the installation equipment as a compensation for reactive power.

Keywords: high-voltage power line; installations for melting ice on direct current; universal installation for melting ice and reactive power compensation.

На высоковольтных линиях электропередач в осенне-зимний период при неблагоприятных погодных условиях возникают гололедные образования. Чаще всего гололедные образования возникают при температуре окружающего воздуха от 0⁰С до -5⁰С и скорости ветра от 2 м/сек до 5 м/сек. Гололедные образования на высоковольтных линиях электропередачи могут привести к тяжелым авариям (коротким замыканиям, обрывам фазных проводов и грозозащитных тросов и даже повреждению опор линии электропередач).

Одним из наиболее часто применяемых методов борьбы с гололедными образованиями является метод плавки гололеда переменным или постоянным током. Обычно метод плавки гололеда переменным током применяется для высоковольтных линий электропередачи до 110 кВ. Для линий электропередачи выше 110 кВ обычно применяется метод плавки гололеда постоянным током. Такое условное разделение связано со следующими факторами: обычно линии электропередачи напряжением до 110 кВ выполняются проводом меньшего сечения и они более короткие, в результате чего у них соотношение активного сопротивления провода и реактивного (индуктивного) меньше чем у линий электропередачи напряжением выше 110 кВ. А как известно мощность источника плавки гололеда расходуется на активную мощность (полезную мощность), которая используется для плавки гололеда и реактивную мощность (бесполезную для случая плавки гололеда). По этому для плавки гололеда на линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше используют метод плавки гололеда на постоянном токе. При этом мощность источника постоянного тока уменьшается в 5 – 7 раз, из-за отсутствия реактивной мощности. Это связано с тем, что на постоянном токе присутствует только активное сопротивление и мощность источника постоянного тока для плавки гололеда будет состоять только из активной мощности. Плавка гололеда на постоянном токе кроме положительного фактора (уменьшение мощности источника в 5 – 7 раз) имеет существенный недостаток – наличие дорогостоящего источника постоянного тока большой мощности. В качестве источника постоянного тока используются высоковольтные (6 – 10 кВ) выпрямительные устройства с

использованием неуправляемых вентиляй (диодов) или управляемых вентиляй (тиристоров). Предпочтение отдается управляемым выпрямительным устройствам, так как возникает возможность плавно регулировать величину выходного напряжения преобразователя и тока. Это позволяет использовать выпрямительное устройство для различных линий электропередач. Кроме высокой стоимости выпрямительного устройства метод плавки гололеда на постоянном токе имеет еще один существенный недостаток – он используется только в осенне-зимний период при неблагоприятных условиях, а в остальное время года простаивает (вообще не используется).

Одним из способов устранения этого недостатка является применение универсальной установки для плавки гололеда на постоянном токе в осенне-зимний период при неблагоприятных погодных условиях, а в остальное время года использовать аппаратуру установки в качестве компенсации реактивной мощности. То есть универсальная установка будет использоваться круглогодично, что существенно повысит ее технико-экономические показатели. Структурная схема универсальной установки изображена на рисунке 1.

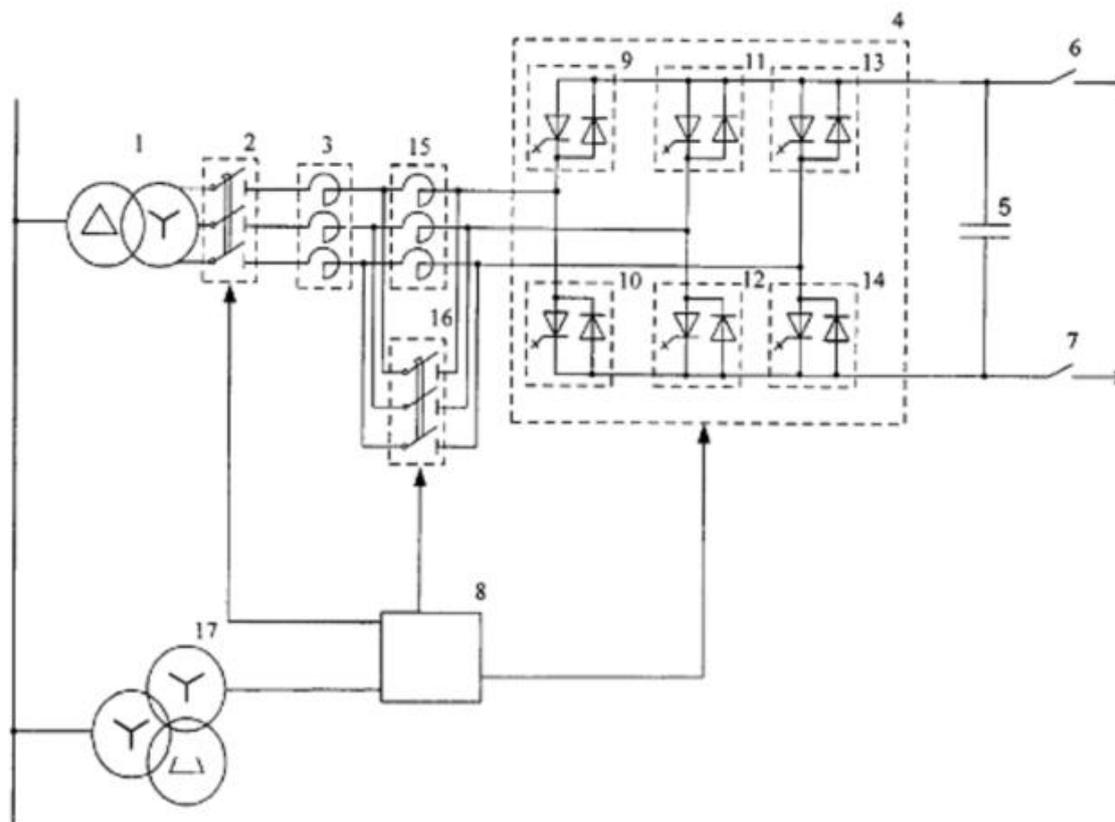


Рис. 1 – Структурная схема универсальной установки плавки гололеда и компенсации реактивной мощности

Предложенная универсальная установка выполняет две функции: первая – это плавка гололеда на воздушных линиях электропередачи при неблагоприятных условиях в осенне-зимний период на постоянном токе и вторая функция – это при отсутствии гололедных отложений на воздушных линиях электропередачи универсальная установка переключается на режим компенсации реактивной мощности.

Источником постоянного тока является шестиимпульсная схема высоковольтного выпрямителя (4), выполненная на полностью управляемых вентилях (тиристорах) (9 – 14). Для перевода универсальной установки в режим плавки гололеда необходимо включить трехфазный выключатель (2), однофазные выключатели (6 и 7) и включить трехфазный выключатель (16). В режиме плавки гололеда воздушная линия подключена к выходу шестиимпульсного выпрямителя через включенные выключатели (6 и 7). Так как шестиимпульсный выпрямитель выполнен на полностью управляемых вентилях (тиристорах), то с помощью схемы управления (8) имеется возможность регулировать величину тока плавки гололеда для различных линий электропередач. При отсутствии гололедных отложений на линии электропередачи универсальная установка переключается в режим компенсации реактивной мощности путем выключения выключателей (6, 7, 16). В этом случае ко входному трансформатору (1) подключается дополнительный реактор (15), шестиимпульсный выпрямитель (4) и конденсаторная батарея (5). В результате таких переключений мы получаем схему, подобную статическому компенсатору реактивной мощности.

Для выбора оптимального тока плавки гололеда для каждого конкретного случая необходимо знать: начало образования гололеда, количество образовавшегося гололеда и параметры окружающей среды. Для этих целей применяется автоматическая система контроля образования гололеда (АСКОГ). Размещение аппаратуры контроля данной системы на опоре линии электропередачи представлена на рисунке 2.

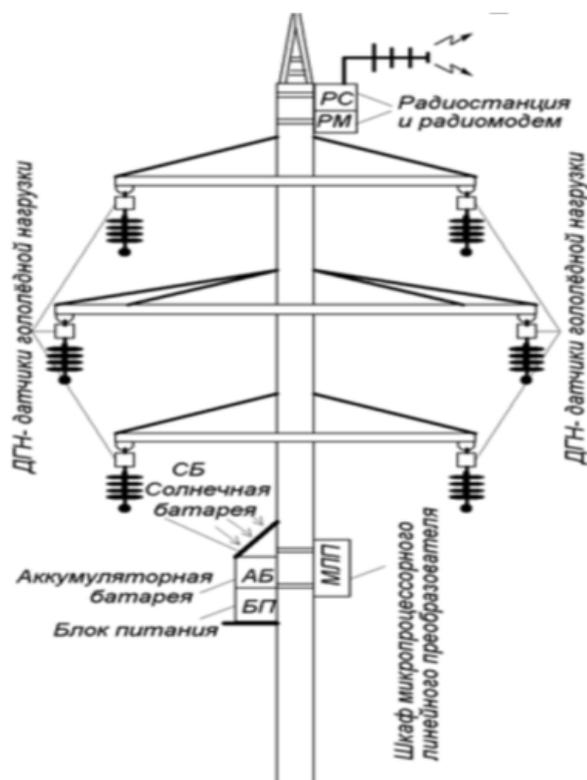


Рис. 2 – Размещение аппаратуры контроля гололеда на опоре линии электропередачи

Данная система контроля гололедных образований состоит из аппаратуры сбора информации об образовании гололеда с различных датчиков (датчиков гололедной нагрузки, датчиков температуры окружающего воздуха, датчиков скорости ветра), установленных на трех фазных проводах линии электропередачи. Основным элементом контроля гололеда является микропроцессорный линейный преобразователь (МЛП), установленный на опоре высоковольтной линии электропередачи. Электропитание аппаратуры запитано от аккумуляторной батареи, которая подзаряжается от солнечной батареи. Микропроцессорный приемный преобразователь получает информацию по радиоканалу от системы контроля, декодирует и обрабатывает с помощью программного обеспечения и передает обработанную информацию энергодиспетчеру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Дьяков А.Ф., Засыпкин А.С., Левченко И.И. Предотвращение и ликвидация гололедных аварий в электрических сетях энергосистем. Пятигорск: изд-во РП «Южэнерготехнадзор», 2000. – 284 с.
2. Каганов В.И. Способ и устройство для борьбы с гололедом на линиях электропередачи // Бюл. Изобретения, 2009. №14.

3. Кувшинов А.А., Карманов В.Ф., Ахметжанов Н.Г., и др. Современные меры борьбы с гололедными отложениями на проводах воздушных линий электропередачи средствами силовой электроники. Изд. Тольятинский гос. университет. 2006. – 96 с.
4. Никитина И.Э., Абдрахманов Н.Х., Никитина С.А. Способы удаления льда с проводов линии электропередачи. // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2015. №3. – 794 с.
5. Патент 2537851 Рос. Федерация № 2012123221/07; Способ борьбы с гололедом на воздушных линиях электропередачи; заявл. 05.06.2012; опубл.10.12.2015, Бюл. №34. – 94с.
6. РД 34.20.511 (МУ 34-70-038-82). Методические указания по плавке гололеда постоянным током. Ч. 2. – Союзтехэнерго. 1993. – 74 с.
7. Шелковников Н.Д., Шелковников Д.Н. Устройство для удаления снежно-ледового покрытия с проводов линии электропередачи // Бюл. Изобретения, 2014. №18. – 23 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА МОСТОВОГО КРАНА НА ОБЪЕКТАХ ПО РЕМОНТУ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Козырев П.И., Мишустина А.В.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»)
cozirew.p@yandex.ru

***Аннотация.** В настоящее время в качестве электропривода механизма подъема мостового крана используются асинхронные двигатели с фазным ротором, которые имеют существенные недостатки. Для модернизации электропривода предлагается вместо асинхронного двигателя с фазным ротором применить асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором совместно с частотным преобразователем напряжения. Такая модернизация позволит решить два основных требования при работе с крановым оборудованием: уменьшение потребления электроэнергии и увеличение надежности электрического и механического оборудования мостового крана.*

Ключевые слова: асинхронный двигатель с фазным ротором; асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором; частотный преобразователь напряжения.

MODERNIZATION OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE BRIDGE CRANE LIFTING MECHANISM AT MINING EQUIPMENT REPAIR FACILITIES

Kozyrev P.I., Mishustina A.V.

*Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16
.cozirew.p@yandex.ru*

***Abstract.** Currently, asynchronous motors with a phase rotor are used as an electric drive for the lifting mechanism of an overhead crane, which have significant disadvantages. To modernize the electric drive, it is proposed to use an asynchronous motor with a closed-loop rotor together with a frequency voltage converter instead of an asynchronous motor with a phase rotor. Such an upgrade will solve two main requirements when working with crane equipment: reducing electricity consumption and increasing the reliability of the electrical and mechanical equipment of the overhead crane.*

Keywords: asynchronous motor with a phase rotor; asynchronous motor with a short-circuited rotor; frequency voltage converter.

Мостовой кран представляет собой грузоподъемное оборудование, циклического действия для перемещения различных грузов и механизмов в различных сферах производства. Особенностью мостовых кранов является их работа в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Краны мостовые включают в себя механизмы подъема, механизмы передвижения крана и механизм передвижения грузовой тележки.

Работу основных элементов мостового крана рассмотрим на кинематической схеме, представленной на рисунке 1.

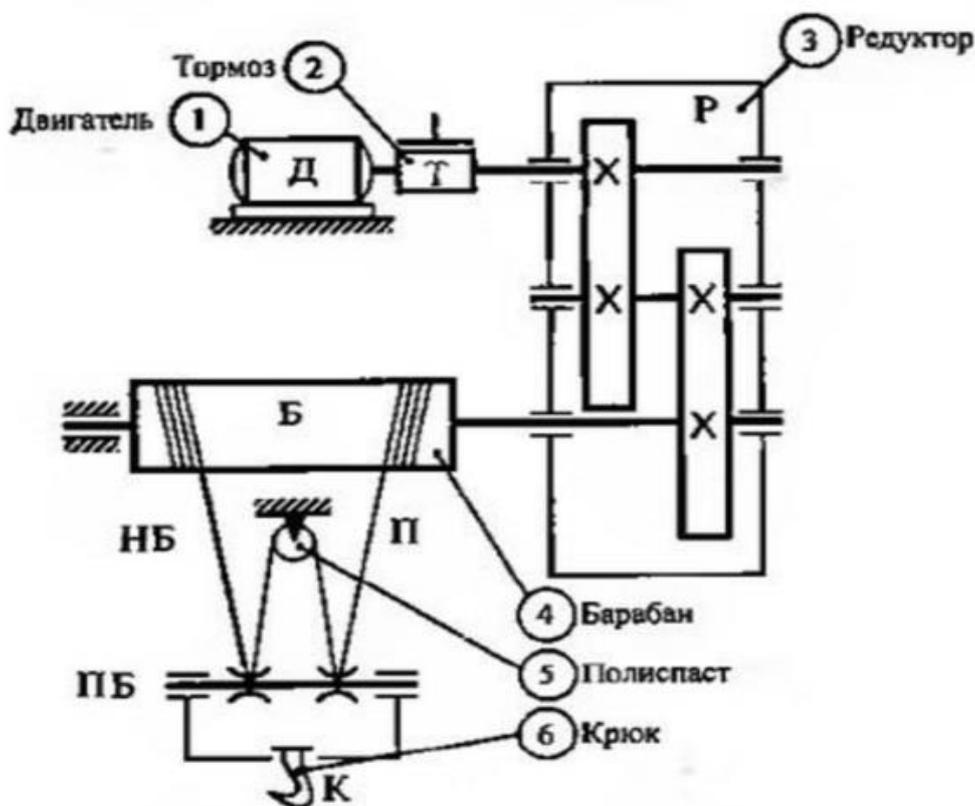


Рис. 1 – Кинематическая схема мостового крана

Операция по подъему и перемещению груза начинается после включения электродвигателя (Д), который включается после окончания строповки груза. Двигатель с помощью редуктора (Р) вращает барабан грузовой тележки (Б), который с помощью полиспаса (П) движение от барабана передается крюку (К). Операция подъема груза начинается с разгона с определенным ускорением до рабочей скорости и в дальнейшем движется с постоянной скоростью. Если груз поднялся на заданную высоту, то двигатель

тормозится и на двигатель применяется механический тормоз (Т). При этом скорость электродвигателя равна нулю и груз удерживается тормозом. При холостом спуске электродвигатель ускоряется до определенной скорости, обычно большей чем при подъеме груза, и в дальнейшем работает в тормозном режиме. При окончании холостого спуска скорость снижается и технологическая операция заканчивается.

До недавнего времени, в большинстве случаев, для электроприводов механизмов подъема мостового крана в основном применяются асинхронные электродвигатели с фазным ротором. Для регулирования скорости вращения асинхронного электродвигателя с фазным ротором применяются регулирующие резисторы, которые включаются в цепь ротора через специальные кольца. Необходимо отметить, что с помощью регулирующих резисторов регулирование скорости вращения электродвигателя можно регулировать только ступенчато.

В настоящее время с появлением совершенных преобразователей частоты начали применяться электроприводы с асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором совместно с преобразователем частоты, которые имеют существенные преимущества по сравнению с асинхронными электродвигателями с фазным ротором. Применение частотно-регулируемого электропривода с асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором позволяет решить два основных требования при работе с крановым оборудованием: уменьшение потребления электроэнергии и увеличение надежности электрического и механического оборудования мостового крана. При использовании частотно-регулируемого привода уменьшаются потери электроэнергии в асинхронном электродвигателе с короткозамкнутым ротором в пусковом и тормозных режимах. Поскольку данный привод работает в повторно-кратковременном режиме с частыми пусками и остановами, то экономия электроэнергии при этом значительная и достигает уменьшения в 1,5 раз при одинаковой нагрузке. Кроме уменьшения энергопотребления частотно-регулируемый электропривод увеличивает надежность оборудования за счет плавных переходных процессов при подъеме и спуске, а также уменьшить динамические нагрузки при подъеме груза, что позволяет увеличить долговечность оборудования и уменьшить количество ремонтов. Также необходимо отметить, что асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором при частотном регулировании имеет значительно меньший пусковой момент и ток по сравнению с асинхронным электродвигателем с фазным ротором.

Преобразователь частоты для механизма подъема мостового крана должен учитывать особенности электропривода грузоподъемных кранов. Согласно правилам безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов необходимо наличие механического тормоза, который применяется при отключенном электродвигателе. Также обязательным условием опускания

груза должно осуществляться только при работающем электродвигателе. Кроме того отключение механического тормоза должно осуществляться когда пусковой момент электропривода достигнет номинальных значений. Таким образом преобразователь частоты для механизма подъема мостового крана должен иметь дополнительные функции: функция управления механическим тормозом (когда электродвигатель достигнет номинального момента механический тормоз отключается и когда груз достигнет минимальной скорости, при подъеме, механический тормоз включается); функция определения заданного закона разгона и торможения груза; функция торможения с применением тормозного резистора. Структурная схема частотно-регулируемого электропривода механизма подъема мостового крана изображена на рисунке 2.

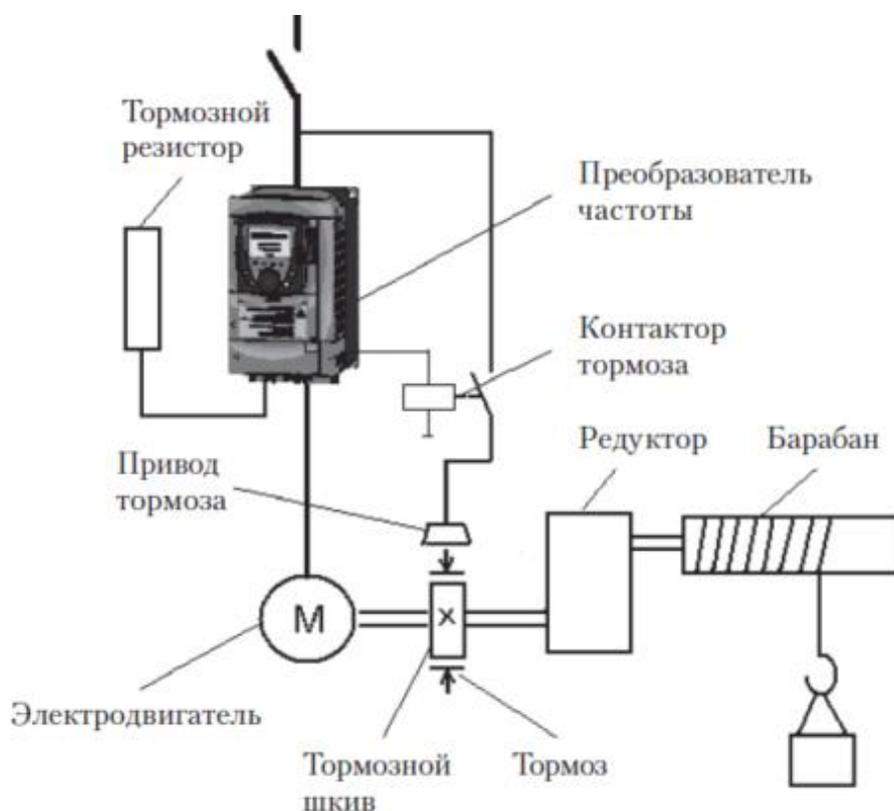


Рис. 2 – Структурная схема частотно-регулируемого электропривода механизма подъема мостового крана

При выборе способа управления частотно-регулируемого электропривода необходимо учитывать основные требования к регулированию скорости механизма подъема мостового крана и показателям качества регулирования. Под показателем качества регулирования подразумевается: диапазон регулирования, плавность регулирования и точность регулирования скорости подъема и опускания груза. Также необходимо учитывать динамические показатели и тип нагрузки. Частотное регулирование скорости вращения

асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором может осуществляться двумя способами.

Наиболее распространенным и простым является скалярный способ частотного регулирования. Данный способ подразумевает измерение и регулирование абсолютных (усредненных) электрических значений асинхронного электродвигателя (напряжения, тока, мощности и т.п.). Регулирование осуществляется по функциональной зависимости между частотой напряжения статора и его величиной напряжения ($U/f = \text{const}$). При использовании IR-компенсации при регулировании на нижних частотах и обратных связях скалярный способ частотного регулирования позволяет достигнуть заданных свойств электропривода.

Второй способ частотного регулирования – векторный способ. Векторный способ частотного регулирования основывается на взаимной ориентации векторов потокосцепления и токов асинхронного электродвигателя. При данном способе измерение и регулирование текущих электрических параметров асинхронного электродвигателя осуществляется их мгновенные значения. Векторный способ частотного регулирования применяется, когда предъявляются высокие требования к динамическим характеристикам.

Поскольку диапазон регулирования скорости электропривода механизма подъема мостового крана имеет относительно малое значение ($< 1:10$), и так как скалярный способ частотного регулирования обеспечивает механические характеристики с требуемой жесткостью и учитывая его преимущества (простота наладки и эксплуатации, а также дешевизна), на основании этого данный способ частотного регулирования может быть применен для управления электроприводом механизма подъема мостового крана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Евсиков А.А. Автоматизированный электропривод с частотным управлением: учебное пособие / А.А. Евсиков, В.А. Коковин, А.П. Леонов.- Дубна: Гос. ун-т «Дубна», 2020. – 121 с.
2. Поляков В.Н. Энергоэффективные режимы регулируемых электроприводов переменного тока / Поляков В.Н., Шнейнер Р.Т. Екатеринбург: ФГАОУ ВПО, 2012. – 222 с.
3. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник. Москва: Изд-во Академия, 2006. – 265 с.
4. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
5. Шабанов А.П. Мостовые краны общего назначения. 5-е изд., перераб. и доп. / А.П. Шабанов, А.Г. Лисяков М.: Машиностроение, 2007. – 304 с.

**РАЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ ПО НАРЕЗКЕ
ВЫРАБОТОК БУРОВЫХ ГОРИЗОНТОВ ОЧИСТНЫХ КАМЕР ВЕРХНЕГО ЭТАЖА
ШАХТЫ АО «КОМБИНАТ КМАРУДА»**

Королёв Н.Д., Чуева Е.А.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»)

nikolai.korolef@yandex.ru, chueva-elena@mail.ru

***Аннотация.** Задачи исследования заключаются в разработке рациональной транспортной схемы при работе ST-2D с минимальной длиной транспортного плеча ПДМ и определении при этом степени улучшения технических показателей проходки, в расчёте экономической эффективности предлагаемого решения, показать насколько оно выгодно.*

Эффективность предлагаемого решения оценивалась на базе параметров типовой камеры длиной 55 м этажно-камерной системы разработки, сравнивались 2-е схемы транспортировки горной массы машиной ST-2D при нарезке выработок бурового горизонта очистной камеры. Рассмотрено для сравнения два варианта схем.

Ключевые слова: Железистые кварциты; штрек; восстающий; буровая выработка; орт; очистная камера; этажно-камерная система; транспортное плечо; рудоперепускной восстающий; отрезные восстающие; погрузочно-доставочными машинами (ПДМ); этажно-камерная система разработки (ЭКСП).

**RATIONAL ORGANIZATION OF TUNNELING OPERATIONS FOR CUTTING THE
WORKINGS OF DRILLING HORIZONS OF THE CLEANING CHAMBERS OF THE
UPPER FLOOR OF THE MINE OF JSC KMARUDA COMBINE**

Korolev N.D., Chueva E.A.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** The objectives of the study are to develop a rational transport scheme for ST-2D operation with a minimum length of the PDM transport arm and, at the same time, determine the degree of improvement in technical penetration indicators, calculate the economic efficiency of the proposed solution, and show how profitable it is.*

The effectiveness of the proposed solution was evaluated on the basis of the parameters of a typical 55 m-long floor-chamber mining system, and the 2nd schemes of transporting rock mass by the ST-2D machine when cutting the workings of the drilling horizon of the cleaning chamber were compared. Two variants of the schemes are considered for comparison.

Keywords: Ferruginous quartzites; drift; rising; drilling; ort; cleaning chamber; floor-chamber system; transport arm; ore transfer rising; cut-off rising; loading and delivery machines (PDM); floor-chamber development system (EXTRA).

При добыче железистых кварцитов на шахте им. Губкина, коэффициент крепости которых по Протодяконову $f \geq 17$, подготовительно-нарезные проходческие работы являются одним из наиболее трудоёмких и дорогих технологических процессов производства. При этом *нарезка* бурового горизонта очистной камеры этажно-камерной системы разработки (ЭКСП) является ответственным этапом в комплексе очистных работ, своевременная их проходка обеспечивает фронт для буровых работ, плановое бурение глубоких скважин и, соответственно, чёткое производство отбойки руды, её выпуска и погрузки в средства откатки.

Поперечное сечение выработок бурового горизонта в этаже (-71) – (-125) м очистных камер имеет площадь 11,2 м², выработки обычно не крепят они ликвидируются по мере отбойки руды в камере. Конфигурация бурового горизонта камер представляет сеть выработок, пересекающихся под прямым углом, многочисленные повороты значительно усложняют проходку выработок с применением буровзрывных работ и самоходного оборудования. В общем объёме проходки нарезных выработок по блоку объём нарезки буровых горизонтов камер составляет 52,5÷56,0 %, отсюда снижение производственных затрат по нарезке буровых горизонтов очистных камер позволит ощутимо уменьшить расходы на добычу руды, поэтому решение этой задачи актуально для шахты им. Губкина.

На проходке выработок бурового горизонта добычных камер применяется современная проходческая техника. Шпуров в забоях бурятся самоходными буровыми установками типа *Воттер* – 281 с мощным гидроперфоратором, Уборка забоя после взрывных работ производится ковшовыми погрузочно-доставочными машинами (ПДМ).

В проектах на проходку выработок реальных камер на горизонте (-71) м взорванная горная масса из забоя должна транспортироваться в **рудоперепускной восстающий**, расположенный за пределами нарезаемых камер, при этом максимальная длина транспортного плеча в камере длиной 55 м с тремя поворотами машины составляет 136,7 м. В этих условиях из применяемой на шахте техники для уборки забоев по техническим

возможностям наиболее подходят ПДМ марки ST-2D с ковшем 1,9 м³, которая успешно используется на шахте.

Идея рациональной организации заключается в том, что в качестве рудоперепускного восстающего, куда ПДМ разгружают горную массу из забоев бурового горизонта, использовать **отрезные восстающие** очистных камер, которые расположены примерно в центре камеры, что позволяет существенно сократить длину транспортного плеча ПДМ, повысить эффективность использования машины ST-2D. Эффективность предлагаемого решения оценивалась на базе параметров типовой камеры длиной 55 м этажно-камерной системы разработки, сравнивались 2-е схемы транспортировки горной массы машиной ST-2D при нарезке выработок бурового горизонта очистной камеры. Рассмотрим сравниваемые варианты схем.

Вариант 1 – существующая транспортная схема при проходке выработок бурового горизонта типовой камеры (рисунок 1). Вариант 1 характеризуется тем, что погрузочно-доставочные машины ST-2D при уборке взорванной горной из забоев выработок бурового горизонта разгружаются в рудоперепускной восстающий б, расположенный в вентиляционном орте 1. Принимается, что на момент начала проходки выработок в контуре очистной камеры вентиляционные сбойки 4 и 5 уже пройдены.

Проходка буровых выработок камеры начинается с сопряжения буровой выработки Б9 с вентиляционной сбойкой 4 и затем забои движутся к буровой выработки Б1 и к вентиляционной сбойке 5. При проходке бурового штрека БШ №1 к буровой выработке Б1 производится засечка и начинается проходка буровых выработок камеры, начиная с Б9 далее последовательно Б8, Б7, Б6 и т.д.

Проходка штреков производится в виде сбоек ранее пройденных соседних буровых ортов. Маршруты движения следующие. Грузёная ПДМ от места погрузки в забое какого-либо орте (Б) или в буровом штреке движется к вентиляционной сбойке 3 выходит на вентиляционный орт 1 и по орту до места разгрузки РПВ 6. Порожня ПДМ от места разгрузки РПВ 6 тем же маршрутом, как и грузёная ПДМ, возвращается к месту погрузки.

При движении по выработкам ПДМ подчиняется требованиям установленных дорожных знаков и ЕПБ при разработке месторождений подземным способом

Рисунок 1 – План бурового горизонта типовой камеры *Вариант 1*.

Рисунок 1 – План бурового горизонта типовой камеры *Вариант 1*.

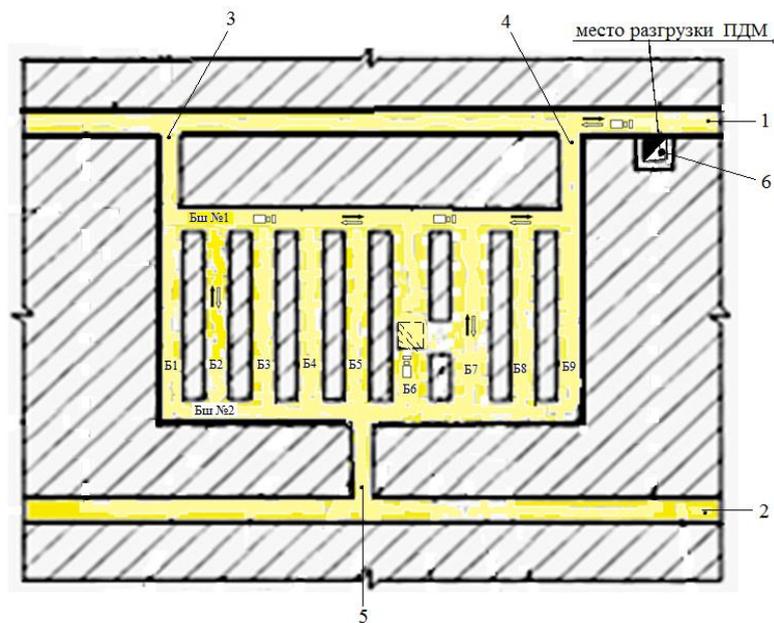


Рис. 1 – План бурового горизонта типовой камеры *Вариант 1*.

1 и 2 – вентиляционный орт № 1 и № 2;

3 – вентиляционная сбойка № 1; 4 – вентиляционная сбойка № 2; 5 – вентиляционная сбойка № 3; 6 – рудоперепускной восстающий

Б. Вариант 2 – предлагаемая транспортная схема при проходке выработок бурового горизонта типовых очистных камер представлена на рисунке 2.

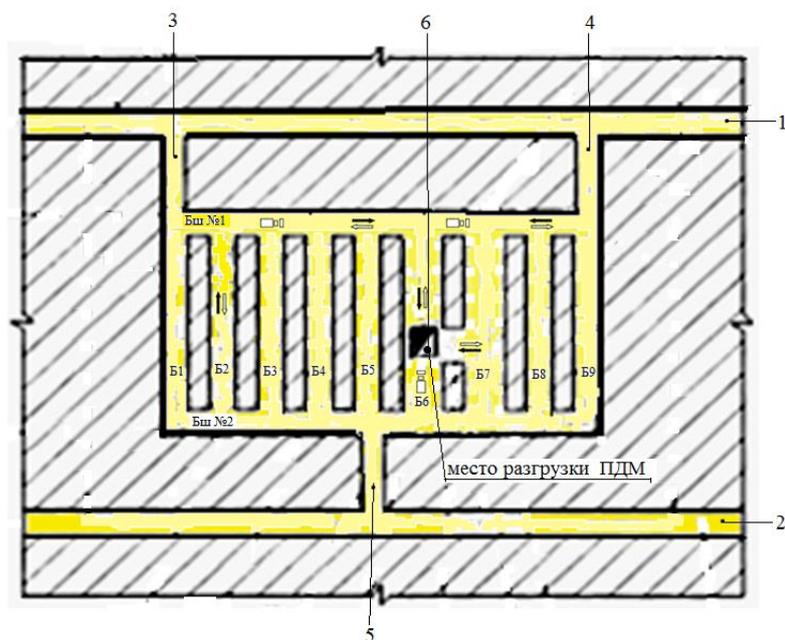


Рис. 2 – План бурового горизонта типовой камеры *Вариант 2*.

1 и 2 – вентиляционный орт № 1 и № 2; 3 – вентиляционная сбойка № 1; 4 – вентиляционная сбойка № 2; 5 – вентиляционная сбойка № 3; 6 – отрезной восстающий

Вариант 2 характеризуется тем, что погрузочно-доставочные машины ST-2D при уборке взорванной горной массы из забоев выработок бурового горизонта разгружаются в отрезной восстающий 6. Отрезной восстающий 6 проходится заранее, для этого проходится вентиляционная сбойка 5 и орта Б6 до места расположения восстающего 6, в месте расположения восстающего оформляется буровая камера. Проходка буровых выработок камеры начинается с проходки буровой выработки Б6 до бурового штрека и далее проходя БШ № 1 в направлении на буровые орты Б1 и Б9. Принимается, что на момент начала проходки выработок в контуре очистной камеры уже пройдены: вентиляционный орт 1 и 2, узким поперечным сечением орт Б6 до восстающего 6, камера для бурения скважин под восстающий 6. При проходке Бш № 1 производится последовательно засечка и начинается проходка буровых выработок (Б) камеры и вентиляционной сбойки 4. Проходка бурового штрека Бш №2, как и в *варианте 1* производится в виде сбоек пройденных соседних (Б). Маршруты движения следующие. Грузёная ПДМ от места погрузки в забое какой-либо выработки (Б) или (Бш) к Б6 и разгружается в отрезной восстающий 6, Порожня ПДМ от места разгрузки тем же маршрутом, как и грузёная ПДМ, возвращается к месту погрузки.

При движении по выработкам ПДМ подчиняется требованиям установленных дорожных знаков и ЕПБ при разработке месторождений подземным способом. Очевидным различием вариантов 1 и 2 (см. рисунки 1 и 2) является отсутствие рудоперепускного восстающего и явно меньшая длина транспортного плеча в варианте 2 относительно варианта 1. Для оценки преимуществ варианта 2 необходима рассчитать средневзвешенную длину транспортного плеча, взвешивание длины пути ПДМ производится по объёму перевозимой руды от проходки буровых ортов и штреков. Для определения средневзвешенной длины ($L_{\text{Ср.в}}$, м) транспортного плеча используется следующая формула:

$$L_{\text{Ср.в}} = \sum(L_{\text{Пл.}} \cdot O_{\text{Гр}}) / \sum O_{\text{Гр}} \quad (1)$$

где $L_{\text{Пл.}}$ – длина транспортного плеча для каждой выработки от места погрузки до места разгрузки по вариантам, м;

$O_{\text{Гр}}$ – объём в целике транспортируемого груза из проходимой выработки, м³;

$\sum O_{\text{Гр}} = 4231,4 \text{ м}^3$ – суммарный объём транспортируемой горной массы при проходке выработок бурового горизонта камеры.

Величина $O_{\text{Гр}}$ является произведением площади сечения и длины выработки и составляет: 294,6 м³ – ортов Б 1–5; 8; 9 и 377,0 м³ – Б 6; 7; 707,6 м³ – штреков Бш №1; №2.

Вариант 1. Общая длина транспортного плеча при проходке *ортов* (Б) суммируется из отрезков пути движения ПДМ (рисунок 1), величина $L_{\text{Пл.1}}$ рассчитывается по формуле:

$$L_{\text{Пл.1}} = 0,5 L_{\text{Б}} + L_{\text{Бш.№1}} + L_{\text{Сум}} \quad (2)$$

где $L_{\text{Б}}$ – длина отрезка пути в данной буров выработке, ($L_{\text{Б}} = 26,3 \text{ м}$ для всех ортов Б 1–9);

$L_{\text{Бш №1}}$ – длина отрезка пути по Бш№1 от данного орта (Б) до поворота на вентиляционную сбойку 4 (переменная).

$L_{\text{Сум}} = 30$ м – сумма постоянной длины отрезка пути по вентиляционной сбойке №2 и по вентиляционному орту 1 до места разгрузки ПДМ в рудоперепуск 6.

При проходке буровых *штреков* Бш №1 и Бш №2) величину $L_{\text{Пл.1}}$ можно определить по формулам:

$$L_{\text{Пл.1}} = 0,5 L_{\text{Бш №1}} + L_{\text{Сум}} \quad - \text{ для Бш №1,} \quad (3)$$

$$L_{\text{Пл.1}} = 0,5 L_{\text{Бш №2}} + L_{\text{Бш.пр}} + L_{\text{Сум}} \quad - \text{ для Бш №2,} \quad (4)$$

где $L_{\text{Бш №1}} = L_{\text{Бш №2}} = 58$ м – длина буровых штреков;

$L_{\text{Бш.пр}} = 29,0$ м – длина прямого пути от Бш №1 до Бш №2.

Определив значения длины транспортного плеча $L_{\text{Пл.}}$ для каждой выработки по формулам (2, 3, 4), умножив их на соответствующее значение объём транспортируемого груза $O_{\text{гр}}$ из данной выработки и сложив полученные результаты по всем выработкам, получим величину делимого в формуле (1): $\sum(L_{\text{Пл.1}} \cdot O_{\text{гр}}) = 302775,3 \text{ м} \cdot \text{м}^3$.

По формуле (1) средневзвешенная длина транспортного плеча вариант 1 составит:

$$L_{\text{Ср.в1}} = 302775,3 / 4231,4 = 71,55 \text{ м.}$$

Вариант 2. Общая длина транспортного плеча при проходке буровых ортов камеры (Б) также суммируется из отрезков пути движения ПДМ (рисунок 2), величина $L_{\text{Пл.2}}$ вычисляется по формуле:

$$L_{\text{Пл.2}} = 0,5 L_{\text{Б}} + L_{\text{Бш}} + L_{\text{Бш.р}} \quad (5)$$

где $L_{\text{Б}}$ – длина отрезка пути в данной буров выработке, ($L_{\text{Б}} = 26,3$ м для всех ортов Б 1–9);

$L_{\text{Бш}}$ – длина отрезка пути по буровому штреку Бш №2 или Бш №1 от данного бурового орта до поворота на буровой орт Б6 для разгрузки ПДМ ;

$L_{\text{Бш.р}} = 14,0$ м – длина отрезка пути по буровому орту Б6 с разгрузкой и поворотом.

При проходке буровых штреков (Бш №1 и Бш №2) величину $L_{\text{Пл.2}}$ можно рассчитать по формуле:

$$L_{\text{Пл.2}} = 0,5 L_{\text{Бш}} + L_{\text{Бш.р}} \quad (6)$$

Определив значения длины транспортного плеча $L_{\text{Пл.2}}$ для каждой выработки по формулам (5, 6), умножив их на соответствующее значение объём транспортируемого груза $O_{\text{гр}}$ из данной выработки и сложив полученные результаты по всем выработкам, получим величину делимого в формуле (1): $\sum(L_{\text{Пл.2}} \cdot O_{\text{гр}}) = 302775,3 \text{ м} \cdot \text{м}^3$.

По формуле (1) средневзвешенная длина транспортного плеча вариант 2 составит:

$$L_{\text{Ср.в2}} = 167836,4 / 4231,4 = 39,66 \text{ м.}$$

Средневзвешенная длина транспортного плеча вариант 2 в **1,8** раза меньше плеча варианта 1. При уменьшении длины транспортного плеча возрастёт скорость проходки

выработок и сократится время нарезки камеры. Расчёт затрат времени по основным процессам и операциям проходческого цикла при нарезке бурового горизонта камеры длиной 55 м, выполненный на базе фактических данных, показал, что среднемесячная скорость проходки выработок в варианте 2 будет примерно на 10 % выше, чем в варианте 1. При этом на 9 % повышается производительность труда проходческого звена и на 7,2 суток сокращается время нарезки горизонта камеры.

Экономическая эффективность варианта 2, обеспеченная указанными выше улучшениями технических показателей проходки бурового горизонта, рассчитывались по 3-м статьям затрат, которые наиболее существенно меняются в предлагаемом варианте. Уменьшение удельных затрат на проходку 1 м³ буровой выработки ($C_{y.з}$) составило $C_{y.з} = 195,6$ руб/м³:

- зарплата и социально-страховые отчисления; 88,7 руб/м³ –
- амортизация и текущий ремонт; 59,1 руб/м³ –
- материалы. 47,8 руб/м³ –

Величина годовой экономии ($\mathcal{E}_{год}$) производственных затрат на проходку выработок буровых горизонтов очистных камер верхнего этажа шахты, производительность которого $A_{год} = 2,5$ млн т руды в год составит:

$$\mathcal{E}_{год} = C_{y.з} \cdot A_{год} \cdot U_{ГПР} \cdot D_{нар.} \cdot D_{нар.бур.} \cdot \dots, \text{руб.} \quad (7)$$

где $U_{ГПР} = 30,5$ м³/1000 т руды – удельный объём горнопроходческих выработок;

$D_{нар} = 0,7$ – доля нарезных выработок по шахте;

$D_{нар.бур} = 0,75$ – доля нарезных выработок буровых горизонтов очистных камер.

$$\mathcal{E}_{год} = 195,6 \cdot 2500 \cdot 30,5 \cdot 0,7 \cdot 0,75 = 7830113 \text{ руб.} = 7,8 \text{ млн. руб.}$$

Заключение

1. Существующая транспортные схемы работы ПДМ при нарезке выработок бурового горизонта очистных камер верхнего этажа шахты с разгрузкой машин в рудоперепускные восстающие, расположенные за пределами камер, не рациональны, удлиняют транспортное плечо ПДМ, снижая эффективность использования техники.

2. Использование предложенного решения в типовой камере ЭКСР длиной 55 м верхнего этажа шахты позволит: в 1,8 раза уменьшить средневзвешенную (по объёму выработок) длину транспортного плеча ST-2D; на 10 % увеличить среднемесячную скорость проходки; на 9 % повысить производительность труда проходчиков и на 7,2 суток сократить время нарезки горизонта камеры, что обеспечит получение годовой экономии ($\mathcal{E}_{год}$)

производственных затрат на нарезку буровых горизонтов очистных камер верхнего этажа шахты, производительность которого $A_{\text{год}} = 2,5$ млн т руды в год, в размере $\mathcal{E}_{\text{год}} = 7,8$ млн. руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Шехурдин В.К. Проведение подземных горных выработок. – М.: Недра, 1991. – 304с.
2. Механизация проведения выработок в крепких породах/П.С. Малый, Т.В. Мицык, А.А. Гуль и др. – М.: Недра, 1977 – 335с.
3. Фролов В.П. Сооружение горных выработок при разработке рудных месторождений. - М.: Недра, 1985 - 180с.
4. Еременко А.А., Федоренко А.И., Копытов А.И. Проведение и крепление горных выработок в удароопасных зонах железорудных месторождений. – Новосибирск: Наука, 2008 – 236с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ГОК

Королькова Л.Н.

*Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), Россия, г. Губкин
klrchayka@mail.ru, +7(915)5692604*

***Аннотация.** В статье кратко рассмотрены вопросы использования теплотехнического оборудования на горно-обогатительных предприятиях.*

Ключевые слова: обезвоживание; обжиг; металлизация.

THE USE OF THERMAL ENGINEERING EQUIPMENT AT THE GOK

Korolkova L.N.

*Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16
klrchayka@mail.ru, +7(915)5692604*

***Abstract.** The article briefly discusses the issues of using thermal engineering equipment at mining and processing enterprises.*

Keywords: dehydration; roasting; metallization.

Продукцией горно-промышленного производства является не добываемая руда, а получаемые из нее в результате обогащения продукты, которые имеют более высокую концентрацию железа. Продуктами обогащения являются концентрат и окускованные материалы. Концентрат поставляется на металлургические предприятия, имеющие технологические подразделения, позволяющие получить окускованный продукт для производства металла. Основным видом продукции являются окускованные материалы, наиболее пригодные для последующей переработки на металлургических предприятиях.

Для получения продукции на горных предприятиях используется различное теплотехническое оборудование. Оно предназначено для следующих операций: сушки (обезвоживания), упрочняющей термообработки кускового материала, металлизации.

Обогащение руды — совокупность методов разделения минералов друг от друга по разнице их физических или химических свойств. Химический состав компонентов руды при этом не изменяется.[1]

В настоящее время в стране ежегодно выпускается более 100 млн.т. железорудных концентратов. Практически на всех предприятиях, производящих их, обогащение ведется в водной среде, а концентраты получают в виде пульпы. Т.е. получаемый концентрат имеет высокую влажность и не может быть использован ни для транспортировки, ни для последующей переработки в окускованный материал, поэтому он подвергается процессу обезвоживания.

Обезвоживание – заключительный этап в технологии обогащения руд, от которого во многом зависит эффективность работы всего горнообогатительного предприятия. Наряду с содержанием железа влажность концентрата является показателем качества. Более 60% выпускаемых железорудных концентратов подвергаются окомкованию, а влажность концентрата существенно влияет на качество производимого окускованного материала [1].

Почти на всех обогатительных фабриках, перерабатывающих железные руды, обезвоживание осуществляют в дисковых вакуум-фильтрах. Большая часть железорудных концентратов обезвоживается на дисковых вакуум фильтрах (рис.1).



Рис. 1 – Вакуумный фильтр.

В конструкции фильтра имеется вал с дисками. Диски укомплектовываются секторами, экипированными чехлами. За счет разности давлений, создаваемой вакуум-насосом, внутри и снаружи сектора на внешней стороне фильтровальной ткани образуется кек железорудного концентрата. Диски проходят зону набора и зону сушки кека. Для обеспечения более эффективного обезвоживания в зону сушки над уровнем пульпы с внешней стороны дисков, подается перегретый пар. В конце зоны сушки в сектора подается сжатый воздух для отдувки кека с фильтровальной ткани. [2]

Разность давлений создается с помощью вакуум-насоса (теплотехнический агрегат). Подаваемый в зону сушки пар также получается в теплотехнических агрегатах – парогенераторах.

Другая группа теплотехнических агрегатов используется при термической обработке сырого окискованного материала для повышения содержания железа в нем и упрочнении полученных окатышей. На промышленных фабриках применяют только высокотемпературное упрочнение окатышей (обжиг). В основном для такого упрочнения используются обжиговые машины (рис.2). Основной целью обжига является получение обожженных железорудных окатышей, максимально отвечающих требованиям металлургического передела, сохраняющими свои свойства при транспортировках, перегрузках и хранении их на открытых складах.



Рис. 2 – Обжиговая машина.

В процессе термической обработки окатыши проходят последовательно следующие технологические зоны [3]:

- сушки – удаление влаги из сырых окатышей и подготовки их к высокотемпературному нагреву,
- нагрева – удаление остаточной влаги из средних и нижних слоев окатышей и подготовки окатышей к обжигу,
- обжига – заканчиваются процессы разложения гидратов и карбонатов, идет процесс высокотемпературного упрочнения окатышей,
- рекуперации – завершение физико-химических процессов,
- охлаждения – охлаждение окатышей до температуры менее 150 °С.

Высокотемпературный теплоноситель, используемый в процессе термообработки, получают при сжигании природного газа. Для сжигания используются горелки, размещаемые в камерах сгорания. Получаемые дымовые газы проходят через слой окатышей в разных зонах и отдают свое тепло обрабатываемому материалу. При этом передача тепла

от теплоносителя к обрабатываемому материалу осуществляется всеми способами: теплопроводность, конвекция, излучение.

Самое высокое содержание железа имеет металлизированный продукт в виде брикетов и металлизированных окатышей. [4.] Среди действующих установок для металлизации железорудных материалов и получения губчатого железа наибольшую долю составляют шахтные печи. (рис. 3).



Рис. 2 – Установка ГБЖ.

Установка металлизации включает сложный комплекс теплотехнического оборудования:

- шахтная печь – протекание процесса металлизации,
- печь-реформер – получение восстановительного газа путем высокотемпературной конверсии,
- компрессоры для подачи в сжатом виде различных газов – инертного, технологического, охлаждающего – в соответствующие зоны шахтной печи,
- рекуператоры – утилизация тепла горячих газов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Шинкоренко С.Ф., Белецкий Е. П., Ширяев А. А. Справочник по обогащению руд черных металлов / под ред. С. Ф. Шинкоренко. – Москва: Недра, 1980. – 527 с..
2. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых – М.: МГТУ, 2004, - 2 т.
3. Кокорин Л.К., Лелеко С.Н. Производство окисленных окатышей. – Екатеринбург: Уральский центр ПР и рекламы, 2004, 280 с.
4. Юсфин Ю.С., Пашков Н.Ф. Металлургия железа : учебник для вузов / рецензент Еланский Г.Н. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2007. – 464 с.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОХРАНЫ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Левина Т.А., Лунева А.В.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), levina1958@mail.ru, luneva.av@missis.ru

Аннотация. В работе дан обзор наиболее популярных средств автоматизации работы сотрудника, ответственного за охрану труда на предприятии, и рассмотрены распространенные решения для обучения по охране труда.

Ключевые слова: охрана труда; цифровизация; обучение безопасности.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR THE ORGANIZATION OF LABOR PROTECTION AT THE ENTERPRISE

Levina T.A., Luneva A.V.

*Branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, Belgorod region, Russia
levina1958@mail.ru, luneva.av@missis.ru*

Abstract. The paper provides an overview of the most popular automation tools for the employees responsible for occupational safety at the enterprise and discusses common solutions for occupational safety training.

Keywords: occupational safety; digitalization; safety training.

Охрана труда, как одна из составных частей современного производства, требующая постоянных существенных вложений в обеспечение безопасности и сохранение здоровья работающего населения, переживает в настоящее время масштабную трансформацию: изменение законодательства по охране труда, реализуется «регуляторная гильотина», приняты и принимаются новые законодательные акты, внесены существенные изменения в Трудовой кодекс и, самое главное, идет цифровая трансформация экономики.

Термин «цифровая трансформация» выбран в качестве национальной цели развития страны до 2030 года, утвержденной Указом Президента РФ [1]. Основными задачами национальной программы «Цифровая трансформация» являются:

- перевод 95% социально значимых услуг в электронный вид;
- «цифровая зрелость» в системе здравоохранения и образования, государственного управления и т. д.;
- широкое внедрение доступа домохозяйств к информационно-телекоммуникационной сети Интернет;
- значительное увеличение финансирования отечественных разработок в сфере информационных технологий.

Следует полагать, что эффективность охраны труда повысится при внедрении современных цифровых технологий взамен ручных рутинных систем учета и контроля над безопасностью труда, что, в конечном счете, позволит сохранить жизнь и здоровье работников. Однако здесь же резонно рассматривать «цифровую трансформацию» и в контексте потерь рабочих мест, непосредственно обусловленных цифровизацией, а также возможного ослабления общей координации усилий по охране труда.

Целью данной работы является анализ применения цифровых технологий для снижения количества нарушений в области промышленной безопасности, охраны труда и охраны окружающей среды (ПБОТОС) и, как следствие, случаев травматизма.

Цифровизация охраны труда – это повсеместное внедрение цифровых технологий, повышающих операционную эффективность предприятия и обеспечивающих безопасные условия труда. Рассмотрим популярные тренды в этой области.

Информационные системы в области ПБОТОС – сервисы, позволяющие своевременно реагировать на предпосылки несчастных случаев, инцидентов, а также на происшествия без последствий. Механизм отслеживания нарушений полностью автоматизируется, в результате этого снижается уровень производственного травматизма, аварийности и позволяет решить ряд других задач в области промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды: усовершенствовать процесс управления рисками в области ПБОТОС; определить нахождение работников в опасных зонах; зафиксировать отсутствие страховочных привязей при выполнении работ на высоте; увеличить коэффициент эффективности труда работников производственных подразделений за счет снижения затрат времени на выявление и устранение нарушений в области ПБОТОС; усовершенствовать процесс анализа по опасным условиям и опасным действиям; произвести контроль выполнения требований ПБОТОС удаленно; зафиксировать факты неиспользования перил при спусках и подъемах по лестничным маршам; повысить культуру безопасности в долгосрочной перспективе; повысить осведомленность о существующих барьерах безопасности на производстве в реальном времени; определить отсутствие средств

индивидуальной защиты; создать инструмент по оперативному реагированию на выявленные опасные условия и действия [2].

Технология «Цифровой супервайзер» – разработанная программа автоматического контроля соблюдения сотрудниками правил ПБОТОС на опасных производственных объектах с использованием видеокамер.

Ранее видеофайлы с производственных объектов анализировались ответственным сотрудником. Реализация же «цифрового супервайзера» позволила: определять использование сотрудниками средств индивидуальной защиты (очки, каска); фиксировать применение работниками перил при передвижении вверх и вниз по лестницам; выявлять случаи использования/неиспользования средств защиты дыхания (маски).

Программа цифрового мониторинга в области охраны труда включает в себя обученную нейросеть, которая анализирует видеозаписи с камер наблюдения для выявления опасных действий сотрудников, опасных условий рабочей среды и т.д.

Проанализированные данные видеозаписей с камер наблюдения поступают в общую информационную систему, которая формирует перечень выявленных нарушений, распределяя их по категориям. Выявляются следующие нарушения: отсутствие каски, отсутствие защитной маски; неиспользование перил при спуске по лестнице; неиспользование перил при подъеме по лестнице; отсутствие защитных очков.

По результатам проведенного анализа формируется аналитический отчет, который направляется ответственным руководителям.

Кроме того, автоматизация помогает оптимизировать временные затраты для специалиста по охране труда, при этом повысить эффективность работы, так как многие процессы (графики инструктажей, периодичность проведения медосмотров, процесс обучения) содержатся в специализированном софте. Все инструменты оптимизации по отдельным задачам или комплексно позволяют экономить время и труд специалиста по охране труда, сделать работу на предприятии безопаснее, более детально рассчитывать затраты на мероприятия по охране труда и закупку средств индивидуальной защиты. Как пример, это программы, предназначенные для предприятий, на которых выполняются работы повышенной опасности и присутствуют вредные и опасные производственные факторы – онлайн-сервис для оценки профессиональных рисков и управления охраной труда, с помощью которого можно проводить процедуру оценки профессиональных рисков, а также составлять инструкции по охране труда.

Экзоскелеты и роботизированные костюмы – позволяют поднимать и долго удерживать на весу тяжёлые предметы; механизмы обеспечивают плавность движений; возможен режим «Свободные руки», позволяющий заблокировать конечности экзоскелета с

грузом и одновременно выполнять мелкие манипуляции своими руками. Существенный недостаток экзоскелета, особенно с электронным компонентом, – вес. Однако, разработчики ищут возможность встроить провода и датчики в текстиль, сделать такие костюмы лёгкими.

Датчики распознавания опасностей и оценки физического и психологического состояния – встраиваются в средства индивидуальной защиты или другие так называемые носимые электронные устройства. Информация передаётся на компьютеры охраны труда, специалисты которой отслеживают отклонения. В более дорогих системах мониторинг проводит ИИ, а люди подключаются только после оповещения о нештатных ситуациях.

Интеллектуальные СИЗ [3]: самая распространённая среди интеллектуальных СИЗ – «умная каска» (разработка российской IT-компании Softline применяется на горнодобывающих предприятиях Алтая). Датчик, расположенный в затылочной части, может сообщать: надета ли каска на голову или находится в неправильном положении; точное местонахождение работника – в датчик встроена навигационная система; о том, что работник долго находится в неподвижном состоянии; что произошло падение; какая температура окружающей среды – для защиты рабочего от перегрева или холодового стресса; на каске есть тревожная кнопка для вызова экстренной помощи.

К интеллектуальным СИЗ также относятся умные сигнальные жилеты, наушники, обувь и другие элементы.

Датчики мониторинга физического состояния – Российская компания CTRL2Go Solutions недавно презентовала «умную футболку» (сбор основных параметров физического состояния и определение уровня психологического стресса, зафиксировать усталость и потерю концентрации). А также, смарт-часы, которые работают как трекер опасных зон, а также определяют местоположение и анализируют последовательность действий рабочего.

Дополненная и виртуальная реальность. В дополненной реальности – Augmented Reality – цифровые элементы добавляются в режим просмотра в реальном времени. Обычно это происходит с помощью камеры в смартфоне или специальных очков. В виртуальной реальности – Virtual Reality – пользователь полностью погружается в смоделированный мир. С помощью виртуальных технологий можно создать опасную ситуацию и проверить действия пользователя. Так, AR и VR-очки, и приложения пригодятся для обучения охране труда, например, в дополнение к лекциям по пожарной безопасности и тренировочным эвакуациям можно подключить виртуальный тренажёр, а приложение же даст оценку действиям пользователя.

Дроны и системы видеонаблюдения – помогают быстро обследовать труднодоступные участки, в то время как осмотр человеком может занять несколько дней. БПЛА имеет встроенный тепловизор, что полезно при обследовании трубопроводов: утечку

газа камера не заметит, но выделение тепла зафиксирует. Также тепловизор помогает в поисково-спасательных операциях в горах после схода лавин. Дрон имеет защиту от плохих погодных условий. Кроме того, БПЛА мониторит обстановку, может делать заборы проб воды для контроля экологической ситуации.

Естественно, могут возникать и проблемы при использовании ИИ и цифровых устройств, полностью полагаться на новые устройства не стоит и следует помнить, что даже новейшая автоматика и электроника может работать со сбоями и выходить из строя, и ответственность за безопасность на предприятии должны нести люди, а не искусственный интеллект.

Выводы.

Использование цифровых инструментов для целей охраны труда позволяет оптимизировать систему управления охраной труда, достичь значительной экономии за счет уменьшения вероятности потенциального ущерба. Цифровизация процессов охраны труда помогает сохранить жизнь и здоровье людей, объединяет все заинтересованные стороны, участвующие в обеспечении безопасности, здоровья и благополучия работающего населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года: указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474. [Электронный ресурс] // Кодекс. URL: <https://docs.cntd.ru/document>
2. Ковриго О. В., Тимофеев А. В. Инновационные решения в охране труда // Состояние, проблемы, и перспективы развития современной науки: материалы национальной научно-практической конференции (г. Брянск, 20–21 мая 2021 г.). Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2021. С. 180–182.
3. Шабунин К. Безопасность с умом: ТОП-3 IT-технологии для охраны труда на цифровом производстве [Электронный ресурс] // Культура безопасности труда.

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ИНФОРМАТИКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ХИМИЯ»

Полева Е.А., Тарасенко Г.М.

*Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
(ГФ НИТУ «МИСИС»)*

Аннотация. В данной статье рассматривается интеграция средств и методов таких фундаментальных наук как химия и информатика. Обосновываются преимущества использования прикладного программного обеспечения (на примере Microsoft Excel), при создании электронной практической работы по дисциплине «Химия».

Ключевые слова: фундаментальная наука; программные средства; табличный процессор Microsoft Excel; алгоритм решения; информационные технологии.

THE USE OF COMPUTER SCIENCE TOOLS AND METHODS IN THE DEVELOPMENT OF ELECTRONIC PRACTICAL WORK ON THE DISCIPLINE "CHEMISTRY"

Poleva E.A., Tarasenko G.M.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. This article discusses the integration of tools and methods of such fundamental sciences as chemistry and computer science. The advantages of using application software (using the example of Microsoft Excel) when creating an electronic practical work on the discipline "Chemistry" are substantiated.

Keywords: fundamental science; software tools; Microsoft Excel spreadsheet processor; solution algorithm; information technology.

В современном образовании происходит постепенное обновление традиционных классических методик и средств обучения благодаря интеграции в него компьютерных информационных технологий. Требования к современным молодым специалистам – выпускникам технического вуза предполагают формирование не только базовых фундаментальных знаний, но и цифровых компетенций, основанных на слиянии межпредметных связей [1].

В химическом образовании, как на начальном школьном этапе, так и в дальнейшем в вузе, значительное место занимает решение различных типов задач, в ходе которых происходит закрепление полученных знаний, вырабатывается умение применять их на практике, осуществляется реализация межпредметных связей. Однако решение некоторых задач требует большой затраты времени на расчеты (задачи на выявление функциональной зависимости одной переменной от другой, задачи по химической кинетике и термодинамике и др.). Тем не менее, решение таких задач позволяет лучше усвоить определенные химические понятия и закономерности.

В 90-х гг. XX века для решения многих расчетных задач предлагалось использовать программируемые микрокалькуляторы [2, 3], а в начале нашего века – графические калькуляторы [4]. В настоящее время важное место в образовательном процессе занимают информационно-коммуникационные технологии. Преподаватели, учителя, студенты и школьники в подавляющем большинстве являются уверенными пользователями ПК, а программы пакета Microsoft Office (Word, PowerPoint, Excel или их аналоги пакета Open Office) широко распространены. Поэтому мы считаем актуальным и обоснованным использование электронных таблиц Excel для решения самых разнообразных расчетных задач. Названное приложение позволяет организовывать работу с базами данных, вводить математические формулы, использовать встроенные функции, представлять данные в графическом виде, осуществлять графическую интерпретацию расчетов, решая, в том числе, дидактические задачи. Это особенно важно в подготовке будущего специалиста, когда профессиональные методические знания начинают формироваться в процессе освоения специальных дисциплин (химии, математики, информатики). Поэтому решение задач по химии в Excel может использоваться как при проведении занятий по информатике со студентами младших курсов, так и при изучении различных химических дисциплин студентами старших курсов (физическая химия, аналитическая химия, органическая химия).

Решение задач с использованием термодинамических расчетов на основе закона Гесса предполагает выполнение типичного алгоритма действий: определиться с выбором подходящей формулы для вычисления искомых результатов, отобрать необходимые справочные табличные величины, произвести последовательные математические действия, приводящие к правильному ответу на поставленный вопрос в задаче.

При классическом подходе к решению таких задач обучающиеся сталкиваются с определенными трудозатратами, которые выражаются в следующем:

1. Время на прочтение и анализ условия задачи.
2. Определение (уточнение) алгоритма решения представленной в традиционной форме задачи.

3. Подстановка табличных значений термодинамических характеристик химических веществ в выражение для расчета изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса применительно к данной химической реакции при стандартных условиях ($\Delta H^0_{x.p.}$, $S^0_{x.p.}$, $\Delta G^0_{x.p.}$).

4. Время на выполнение математических расчетов.

5. Оформление решения задачи.

Очевидно, что при таком подходе химическая сторона задачи уходит на второй план. В связи с чем представляется актуальной автоматизация алгоритма решения задач по термодинамике с применением электронных таблиц Microsoft Excel, поскольку данная программа обладает широкими возможностями.

К преимуществам использования электронных таблиц Microsoft Excel на практических занятиях по химии можно отнести:

– установлены практически на каждом ПК не только в образовательных учреждениях, но и в большинстве офисов;

– одна книга вмещает множество отдельных листов с различными типами задач и вспомогательных таблиц;

– автоматизация вычислений по заданным рекуррентным формулам;

– возможность автоматического изменения исходных параметров задачи;

– наличие встроенных функций, позволяющих применять широкий спектр возможностей;

– исключение ошибок в математических расчетах;

– подстановка соответствующих параметров из таблиц, включающих большое количество данных, методом выбора;

– экономия времени, затраченного на выполнение математических операций;

– увеличение времени на объяснение химического смысла задачи и анализа результатов решения задачи.

Рассмотрим алгоритм разработки электронной практической работы по термодинамике средствами табличного процессора MS Excel на примере решения задачи расчета изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса применительно к конкретной химической реакции при стандартных условиях.

Задача. Для реакции $H_2S(g) + I_2(g) = 2 HI(g) + S(k)$ составьте по закону Гесса и следствию из него общие выражения для расчета изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса применительно к данной химической реакции при стандартных условиях ($\Delta H^0_{x.p.}$, $S^0_{x.p.}$, $\Delta G^0_{x.p.}$). На основании проведенных расчетов определите, возможно или нет

самопроизвольное протекание данной реакции при стандартных условиях в прямом направлении. [5].

Для удобства решения данной задачи мы подготовили соответствующий шаблон (рис.1). Следует отметить, что для расчета ΔG при различных значениях температуры данный параметр следует тоже учесть.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Задача															
2																
3			+			=			+							
4																температура
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16	Указания по выполнению задания															
17	1. В ячейки голубого цвета выберите из выпадающего списка нужное вещество. Если вещество не участвует в реакции поставьте "-"															
18	2. Слева от химического элемента в ячейку бежевого цвета введите коэффициенты. Если в уравнении реакции нет коэффициента, поставьте 1.															
19	3. Укажите температуру протекания реакции в Кельвинах															
20																

Рис. 1 – Шаблон решения задач по закону Гесса и следствию из него

При решении данной задачи предусмотрено два варианта ввода исходных значений: ввод химических веществ, участвующих в реакции, с клавиатуры либо выбор нужного вещества из выпадающего списка. В первом случае термодинамические характеристики веществ придется подставлять из таблицы самостоятельно, что может привести к ошибкам в последующих вычислениях. Поэтому мы выбрали второй вариант ввода исходных параметров. Для этого на вспомогательном листе рабочей книги Excel мы внесли данные табличных значений термодинамических характеристик веществ при стандартных условиях (рис.2). Данная таблица будет в дальнейшем использоваться для выбора веществ из выпадающего списка для различных вариантов реакций.

	A	B	C	D
1	Термодинамические характеристики веществ			
2				
3	вещество	$\Delta H^0_{f, 298}$ кДж/моль	$\Delta G^0_{f, 298}$ кДж/моль	S^0_{298} Дж/(моль·К)
4	Al	0,00	0,00	28,32
5	Al ₂ O ₃	-1676,00	-1580,00	50,94
6	Br ₂	0,00	0,00	152,30
7	C	0,00	0,00	5,74
8	CO	-110,50	-137,40	197,54
9	CO ₂	-393,51	-394,38	213,68
10	CH ₄	-74,85	-50,79	186,19
11	C ₂ H ₂	226,75	209,20	200,80
12	C ₂ H ₄	52,28	68,11	219,40
13	C ₂ H ₆	-84,68	-32,89	229,50
14	CH ₃ OH	-238,60	-166,23	126,80
15	C ₂ H ₅ OH	-277,70	-174,76	160,70
16	CaCO ₃	-1207,10	-1128,76	92,88
17	CaO	-635,50	-604,20	39,70
18	Ca(OH) ₂	-986,20	-898,50	83,40
19	Cl ₂	0,00	0,00	222,96
20	Cr	0,00	0,00	23,76
21	Cr ₂ O ₃	-1141,00	-1058,00	81,10
22	CuCl ₂	-172,40	131,40	118,80
23	CuO	-165,00	-127,00	42,64
24	Fe	0,00	0,00	27,15
25	FeCl ₂	-341,00	-301,70	120,10
26	FeCl ₃	-390,80	-328,70	154,40
27	Fe ₂ O ₃	-822,16	-740,98	89,96
28	H ₂	0,00	0,00	130,58
29	HBr	-35,98	-53,50	198,50
30	HCl	-92,30	95,27	186,69
31	HI	25,94	1,30	206,30
32	HNO	-174,30	-80,30	156,60
		Термодинамические хар-ки в-в		Решение

Рис. 2 – Фрагмент таблицы термодинамические характеристики веществ при стандартных условиях

На следующем шаге в ячейках голубого цвета нашего шаблона с помощью команды *Данные* → *Проверка данных* организуем выпадающий список, из данных таблицы с термодинамическими характеристиками. После этого задание исходного вещества сводится к выбору нужного элемента из выпадающего списка.

Для каждого элемента, приведенного в таблице заданы соответствующие параметры $\Delta H^0_{x.p.}$, $S^0_{x.p.}$, $\Delta G^0_{x.p.}$, поэтому нам важно, чтобы при выборе химического вещества из списка отображались в шаблоне соответствующие параметры $\Delta H^0_{x.p.}$, $S^0_{x.p.}$, $\Delta G^0_{x.p.}$. С этой целью мы воспользовались функцией ВПР (поисковая функция в Excel), которая находит значения в одной таблице и переносит их автоматически в другую. Так, для первого элемента нашей реакции соответствующие дельта будут определены по следующим формулам:

$$B4 = \text{ВПР}(B\$3; \text{"Термодинамические хар-ки в-в!"} \$A\$4: \$D\$57; 2)$$

$$B5 = \text{ВПР}(B\$3; \text{"Термодинамические хар-ки в-в!"} \$A\$4: \$D\$57; 3)$$

$$B6 = \text{ВПР}(B\$3; \text{"Термодинамические хар-ки в-в!"} \$A\$4: \$D\$57; 4)$$

Аналогично поступим и с другими веществами, участвующими в реакции.

На следующем шаге введем расчетные формулы:

$$\Delta H_{xp} = G3 * H4 + J3 * K4 - (A3 * B4 - D3 * E4)$$

$$\Delta S_{xp} = (G3 * H6 + J3 * K6 - (A3 * B6 - D3 * E6)) * 10^{(-3)}$$

$$\Delta G_{xp} = B8 - (M4 * B9)$$

Результатом возможности или невозможности самопроизвольного протекания данной реакции при стандартных условиях в прямом направлении может быть определен с помощью формулы: $=\text{ЕСЛИ}(B10 < 0; \text{"протекание реакции возможно"}; \text{"протекание реакции невозможно"})$.

Для удобства ввода исходных данных запишем указания по подстановки исходных параметров с целью получения решения поставленной задачи. Результат полученной реакции представлен на рисунке 3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Задача																	
	1 S	+	1 I2	=	2 HI	+	1 S										t-ра
$\Delta H_{xp} =$	0,00				62,24			25,94			0,00						
$\Delta G_{xp} =$	0,00				19,40			1,30			0,00						
$S^0_{xp} =$	31,88				260,58			206,30			31,88						
$\Delta H_{xp} =$	114,12																
$\Delta S_{xp} =$	0,67																
$\Delta G_{xp} =$	114,12																
Результат																	
протекание реакции невозможно																	
Указания по выполнению задания																	
1. В ячейки голубого цвета выберите из выпадающего списка нужное вещество. Если вещество не участвует в реакции поставьте "-"																	
2. Слева от химического элемента в ячейку бежевого цвета введите коэффициенты. Если в уравнении реакции нет коэффициента, поставьте 1.																	
3. Укажите температуру протекания реакции в Кельвинах																	

Рис. 3 – Результат решения задачи

Стоит отметить, что при изменении условий протекания реакции (изменении температуры), можно получить другой результат, затратив на это существенно меньше времени.

Принимая к сведению вышеизложенное, приходим к выводу, что использование электронных таблиц Excel в процессе обучения химии выполняет мотивационную, обучающую и развивающую функции, способствуя эффективному процессу формирования методических умений будущего специалиста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасенко, Г. М. Подготовка специалистов горнодобывающей отрасли в условиях цифровизации инженерной деятельности / Г. М. Тарасенко, Е. А. Чуева // Технический оппонент. – 2023. – No 1(9). – С. 10-15.
2. Ахметов, Б. В. Задачи и упражнения по физической и коллоидной химии [Текст] / Б. В. Ахметов. – Ленинград : «Химия», 1989. – 240 с
3. Богун, В. В. Методика использования графического калькулятора в обучении математике студентов педагогических вузов [Текст]: дис. ... канд. пед. наук. – Ярославль, 2006. – 232 с
4. Гаммет, Л. Основы физической органической химии. Скорости, равновесия и механизмы реакций [Текст] / Л. Гаммет. – Москва : Изд-во «Мир», 1975. – 534 с
5. Полева Е.А., Крахт Л.Н и др.. «Физическая химия. Рабочая тетрадь». Губкин, - 2018. 43 с.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ОСНОВЕ СОСТАВА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ САМОХОДНЫХ МАШИН ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКОВ

Сенаторов В.А.¹, Сенаторова М.Г.

¹ Филиал «Военизированный горноспасательный отряд Юга и Центра» ФГУП «Военизированная горноспасательная часть», Россия, г. Губкин, 309180, Россия, г. Губкин, ул. Горноспасателей 1 «а»
senatorovw.vladimir.1970@mail.ru, senatorova_1970@mail.ru,

² Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), Россия, г. Губкин, 309186, Россия, г. Губкин, ул. Комсомольская 16

***Аннотация.** Правильно организованное техническое обслуживание является основой исправного состояния подземной машины, позволяющее вовремя обнаружить возможные повреждения механизмов и узлов, снизить влияние вредных выбросов на организм работников.*

В основу диагностики двигателей внутреннего сгорания (далее ДВС) подземных рудников по фактору газовой опасности положены передовые принципы регистрации и качественного определения вредных (загрязняющих) веществ в выхлопных газах и воздухе рабочей зоны при помощи специализированных приборов – рабочих станций. Сравнивая полученные результаты с установленными (рекомендуемыми) показателями двигателей получаем оценку текущего состояния машины.

Для диагностики используем не только общепринятые параметры работы исправных дизельных моторов, но и вновь установленные научными экспериментами зависимости.

В статье проведен анализ состава основных компонентов и показателей выхлопных газов технологического транспорта и другого самоходного оборудования подземных рудников. Определены основные критерии экспресс-диагностики ДВС, направленные на определение предварительных причин неисправности по соответствующим показателям, приведены результаты исследований газовой опасности самоходного подземного оборудования, установлена взаимосвязь с основными показателями.

Ключевые слова: атмосфера рудничная; аэрологическая безопасность; условия труда; рудничная вентиляция; вредные газы; производственный микроклимат; источники профессиональных рисков горнорабочих; контроль состояния воздуха рабочей зоны; двигатели внутреннего сгорания (ДВС); выхлопные газы (ВГ); выброс вредных веществ; стационарный и динамический измерительный цикл.

THE MAIN DIRECTIONS OF EXPRESS DIAGNOSTICS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES BASED ON THE COMPOSITION OF EXHAUST GASES OF SELF-PROPELLED MACHINES OF UNDERGROUND MINES

Senatorov V.A.¹, Senatorova M.G.²

¹ Branch "Paramilitary Mine Rescue Squad of the South and Center" of the Federal State Unitary Enterprise "Paramilitary Mine Rescue Unit", Russia, Gubkin, 309180, Russia, Gubkin, Gornospasateley str. 1 "a"

² Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. Properly organized maintenance is the basis for the good condition of an underground machine, which allows you to detect possible damage to mechanisms and components in time, to reduce the impact of harmful emissions on the body of workers.

Diagnostics of internal combustion engines (hereinafter referred to as ICE) of underground mines by gas factor is based on advanced principles of registration and qualitative determination of harmful (polluting) substances in exhaust gases and air of the working area using specialized devices - workstations. By comparing the results obtained with the established (recommended) engine indicators, we get an assessment of the current state of the machine.

For diagnostics, we use not only the generally accepted parameters of the operation of serviceable diesel engines, but also the dependencies newly established by scientific experiments.

The article analyzes the composition of the main components and indicators of exhaust gases of technological transport and other self-propelled equipment of underground mines. The main criteria for express diagnostics of internal combustion engines aimed at determining the preliminary causes of malfunction by the relevant indicators are determined, the results of studies of the gas content of self-propelled underground equipment are presented, and the relationship with the main indicators is established.

Keywords: mining atmosphere; aerological safety; working conditions; mine ventilation; harmful gases; industrial microclimate; sources of occupational risks for miners, monitoring of the air condition of the working area; internal combustion engines (ICE) ; exhaust gases (EG) ; emission of harmful substances, stationary and dynamic measurement cycle.

Измерение состава выхлопных газов является важным этапом диагностики дизельного двигателя наряду с другими более трудозатратными технологическими операциями. Благодаря этому можно своевременно выявить проблемы и принять меры по их устранению, сохранить работоспособность и срок службы двигателя.

К основным показателям исправного дизельного ДВС относятся мощность, крутящий момент, расход топлива и состав выхлопных газов [1]. При эксплуатации подземных машин в сложных горно-геологических условиях происходит изменение регулировочных параметров, возникают неисправности, которые сопровождаются уменьшением мощности и увеличением расхода топлива, существенно изменяется состав выхлопных газов, соответственно и воздух рабочей зоны.

Существуют современные методы технической диагностики двигателя без разборки основных систем, например по параметрам газовой смеси.

Методы диагностирования топливной системы подземной машины по параметрам отработавших газов являются универсальными и позволяют регистрировать неисправную работу топливной системы в основном для постановки предварительного диагноза.

Диагностика и регулировка двигателей внутреннего сгорания подземных машин – это одно из наиболее важных мероприятий по снижению токсичности выхлопных газов

Предварительный диагноз состояния ДВС устанавливаем в комплексе показателей рабочих станций и дополнительно оцениваем по запаху, окраске выхлопа, а также по содержанию сажи (дымности).

По величине выхлопа, как функции фактического максимального потребления топлива и концентрации всех ядовитых газов в нем можно определить загрязняющий фактор работы машин с ДВС, по которому возможно рассчитать количество воздуха, необходимого для разбавления ядовитых газов до ПДК.

Основные факторы, влияющие на качественный состав выхлопных газов и дымность двигателя подземной машины связаны с системой питания, техническим состоянием поршневой и цилиндровой группы, наличие специальных добавок, соответствующих присадок.

Цвет выхлопных газов дизельного двигателя может быть полезным индикатором его состояния и помочь в диагностике [2, 3].

Отношение реального количества воздуха, идущего на горение к расчетному (избыток воздуха λ или предел дымления) является одним из важнейших используемых в диагностике параметров.

Анализ отработавших газов дизельных двигателей показывает, что количество наиболее токсичных компонентов и сажи обратно пропорционально коэффициенту избытка воздуха.

Температура отработавших газов (ОГ) на выходе из цилиндров двигателя является одним из важнейших диагностических параметров дизеля. Информативность температуры ОГ можно существенно повысить, если использовать ее совместно с коэффициентом избытка

воздуха, характеризующим как качество смесеобразования в цилиндре дизеля, так и режим его работы. Одним из возможных способов решения подобной задачи является непрерывный контроль характерных зависимостей.

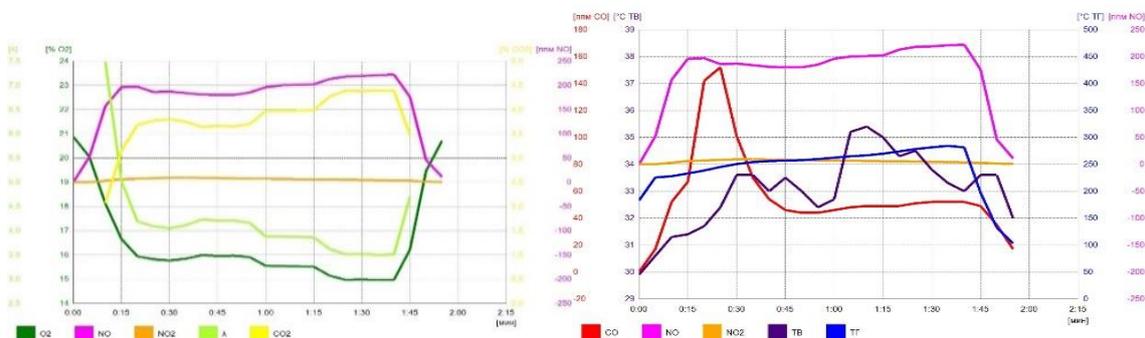


Рис. 1 – Изменение газовых параметров (O_2 , NO_2 , NO , CO_2 , λ , CO , температуры выхлопных газов при увеличении оборотов двигателя на холостом ходу

Повышенное содержание CO может свидетельствовать о проблемах в системе отвода выхлопных газов или неисправностях в системе сгорания, CO_2 может указывать на вероятность дефектов в системе впрыска или неплотность цилиндра, CH_x может свидетельствовать о проблемах в системе впрыска топлива или неполном сгорании топлива, NO_x часто указывает на неоптимальную работу двигателя, что может быть результатом неисправностей в системе впрыска или удержания давления воздуха.

Анализ длительных исследований различных параметров выхлопных газов на ДВС в режиме холостого хода с плавным увеличением оборотов двигателя с минимальных до максимальных позволяет отметить интересные закономерности и связи следующих показателей выхлопных газов таких как содержание кислорода, угарного газа, окислов азота, углекислого газа, водорода, температуры выхлопных газов, коэффициента избытка воздуха.

При проведении исследований технологических циклов подземных машин, рудничный воздух содержит вещества, которые по-разному действуют на организм работника, их можно разделить на несколько групп: раздражающего действия на слизистые оболочки и кожные покровы, раздражающие органы дыхания, воздействующие на кровь человека, нервную систему и работающие как дыхательные ферменты.

Прямым последствием воздействия вредных веществ, возникающих при процессах сгорания дизельного топлива, является образование смеси дыма и вредных ядовитых веществ в горных выработках.

Для того чтобы снизить влияние машин с дизельными двигателями (далее ДВС) на газовый состав воздуха рабочей зоны и микроклиматические условия в горных выработках,

необходимо уделить особое внимание вопросу сокращения вредных выбросов, их своевременному и обоснованному контролю.

Особо важным фактором является качественное проветривание горных выработок с целью обеспечения соблюдения безопасных условий для работающих соответствующих нормативным требованиям.

Современные методы и технологии проведения мониторинга выхлопных газов, качественный анализ и оценка фактических объемов выбросов как на холостом ходу, так и в движении машины, - позволяют максимально эффективно настроить топливные системы подземного транспорта на экологическую безопасность и существенно снизить воздействие токсичных веществ на организм работника. На основе фактических параметров выбросов производятся уточненные специализированные расчеты необходимого количества воздуха для каждого типа машин.

Подводя итог, можно сделать выводы, что проведенные исследования показали - на предприятиях с существенно различными технологическими процессами имеют место общие проблемы в отношении качества воздушной среды на рабочих местах.

В результате выполненных экспериментальных работ установлены фактические параметры состояния рудничной атмосферы современных рудников: получены данные о составе выхлопных газов основных транспортных машин. В ходе выполнения исследований проведены опытные испытания методики по определению фактической газовой смеси самоходного дизельного оборудования и установлены основные признаки неисправных дизельных двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. С. В. Крашенинников (Новосибирск, Россия). Современные подходы к диагностированию дизельных двигателей внутреннего сгорания. Электронный журнал «Вестник Новосибирского государственного педагогического университета».
2. Уве Рокош. Бортовая диагностика. Перевод с нем. ООО «СтарСПб». - М.: ООО «Издательство «За рулем», 2013. - 224 с : ил.
3. В.К. Царикаев. Снижение вредных выбросов при эксплуатации ДВС на рудниках. Доклад на симпозиуме "НЕДЕЛЯ ГОРНЯКА - 2001" МОСКВА, МГГУ, 29 января – 2 февраля 2001 г
4. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (Hygienic requirements to occupational microclimate).
5. ГН 2.2.5.1313-03 «Химические факторы производственной среды. Предельно-

допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы».

6. Инструкция по безопасному применению самоходного (нерельсового) оборудования в подземных рудниках. М., «Недра», 1973.

7. ГОСТ 31967-2012 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения (с Изменением № 1). – М., 2012.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ РУДНИКА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОГАЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ДОБЫЧЕ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ

Сенаторов В.А.¹, Сенаторова М.Г.², Калинин И.М.²

¹ Филиал «Военизированный горноспасательный отряд Юга и Центра» ФГУП «Военизированная горноспасательная часть», Россия, г. Губкин, 309180, Россия, г. Губкин, ул. Горноспасателей 1 «а»

² Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), 309186, Россия, г. Губкин, ул. Комсомольская 16

Аннотация. Решение вопросов проветривания рудников высокой производительности должно включать в себя, в первую очередь, обоснование рациональных схем вентиляции, а также использование новых современных методов расчета требуемого количества воздуха, адекватно отображающих газовую ситуацию в горных выработках.

В настоящее время предприятия по добыче богатой железной руды активно развиваются. Условия ведения горных работ достаточно сложные с учетом геомеханических и гидрогеологических параметров месторождений. На подземных рудниках с богатой железной рудой часто применяется система разработки с полной закладкой выработанного пространства.

Использование установленных схем вентиляции и методов расчета необходимого количества воздуха не исключает решения вопросов, связанных с оперативным управлением воздушными потоками для нормализации газовой ситуации на рабочих участках и по руднику в целом.

Основными источниками загрязнения воздуха рабочей зоны вредными газами и пылью в условиях подземного рудника являются:

- взрывные работы;
- работа дизельного оборудования;
- процессы окисления и подземные пожары;
- основные производственные процессы при добыче полезных ископаемых.

Для решения вопросов интенсификации производства и сохранения жизни и здоровья работников требуется плановое проектирование вентиляции на всех стадиях строительства и эксплуатации объекта.

Использование современных способов математического моделирования позволяет спрогнозировать экологическую ситуацию на перспективные варианты развития предприятия.

Ключевые слова: атмосфера рудничная; аэрологическая безопасность; условия труда; рудничная вентиляция; вредные газы; производственный микроклимат; контроль состояния воздуха рабочей зоны; двигатели внутреннего сгорания (ДВС); выхлопные газы (ВГ); выброс вредных веществ; математическая модель.

IMPROVEMENT OF THE MINE VENTILATION SCHEME BASED ON MATHEMATICAL MODELING OF AEROGAS PROCESSES IN IRON ORE MINING

Senatorov V.A.¹, Senatorova M.G.², Kalinin I.M.²

¹ Branch "Paramilitary Mine Rescue Squad of the South and Center" of the Federal State Unitary Enterprise "Paramilitary Mine Rescue Unit", Russia, Gubkin, 309180, Russia, Gubkin, 1 "a"

² Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. *The solution of the issues of ventilation of high-performance mines should include, first of all, the justification of rational ventilation schemes, as well as the use of new modern methods for calculating the required amount of air, adequately reflecting the gas situation in the mine workings. Currently, enterprises for the extraction of rich iron ore are actively developing.*

The mining conditions are quite difficult, taking into account the geomechanical and hydrogeological parameters of the deposits. Underground mines with rich iron ore often use a mining system with full backfilling of the mined-out space.

The use of established ventilation schemes and methods for calculating the required amount of air does not exclude the solution of issues related to the operational management of air flows to normalize the gas situation at the work sites and in the mine as a whole.

The main sources of air pollution in the working area with harmful gases and dust in the conditions of an underground mine are:

- blasting;*
- operation of diesel equipment;*
- oxidation processes and underground fires;*
- the main production processes in the extraction of minerals.*

To solve the issues of intensification of production and preservation of life and health of workers, planned ventilation design is required at all stages of construction and operation of the facility.

The use of modern methods of mathematical modeling makes it possible to predict the environmental situation for promising options for the development of the enterprise.

Keywords: mine atmosphere; aerological safety; working conditions; mine ventilation; harmful gases; industrial microclimate; control of the air condition of the working area; internal combustion engines (ICE); exhaust gases (EG); emission of harmful substances; mathematical model.

Атмосферный воздух, поступающий в пространство подземного рудника существенно изменяется. Эти изменения выражаются в воздухе рабочей зоны и приводят к уменьшению концентрации кислорода, увеличению концентрации диоксида углерода, а также в присоединении к нему ядовитых газов, породной пыли и компонентов, выделяющихся из взрывчатых веществ в процессе отбойки [1, 2, 4]. Изменяются также другие параметры.

Загрязненный воздух рабочей зоны пополняется такими ядовитыми газами, как оксид углерода, оксиды азота, акролеин, формальдегид, которые могут вызывать патологические изменения в организме человека: нарушение регуляции дыхания, нарушение функции гемоглобина крови и прочие негативные реакции.

Значительные количества вредных газов поступают в воздух рабочей зоны при взрывании взрывчатых веществ (далее ВВ). Газовая смесь, образующаяся при взрыве, имеет очень сложный состав: кислород, азот, оксид и диоксид углерода, оксиды азота, сероводород, оксид серы, углеводороды, водород, аммиак, пары воды и другие компоненты [4, 5]. Большой вклад в негативное изменение физических и химических параметров рудничного воздуха вносят подземные машины с двигателями внутреннего сгорания и технология твердеющей закладки.

В результате действия указанных источников воздух рабочей зоны нагревается до предельно допустимых температур, имеет повышенную влажность при этом пополняется такими ядовитыми газами, как оксиды углерода, сероводород, диоксид серы, оксиды азота, акролеин, формальдегид, углеводороды, различные виды пылей, сварочных аэрозолей. Изменения параметров рудничного воздуха могут вызывать патологические изменения в организме человека: тепловой удар, нарушение регуляции дыхания, нарушение функции газообмена и прочие негативные реакции, существенно сказывающиеся на производительности труда и безопасности ведения работ.

В первоначальный момент перед построением математических моделей действующего предприятия рассматриваем основные фундаментальные законы описывающие аэрогазовые процессы: сохранения массы, импульса, энергии и масс компонентов в рассматриваемом малом контрольном объеме и адаптируем модели по граничным условиям.

Используем наглядный способ для трехмерного моделирования – мощный инструмент для оптимизации процесса разработки и технологической подготовки в области вычислительной динамики жидкостей и газов ANSYS CFD, в основе которого используются также уравнения физических моделей турбулентности [3, 4].

Далее по исходным данным создаем пространственную (трехмерную) математическую модель рассматриваемого к совершенствованию системы проветривания объекта. Модель создаем одновременно в двух программных комплексах.

Это хорошо зарекомендовавшие себя программные продукты «Аэросеть» и «Вентиляция 2.0», которые удачно дополняют друг друга и позволяют конвертироваться на базе основных производственных показателей, исходных данных для проектирования [7, 8].

Корректировка и адаптация модели производится на основании фактических замеров газовости ДВС, плановых отборов проб рудничного воздуха и термо-влажностных параметров, корректных и актуальных воздушных и депрессионных съемок.

На основании полученных фактических сведений и анализа действующей аэрологической ситуации производится проверка по возможным вариантам эвакуации персонала и маршрутов движения аварийно-спасательных служб (горноспасателей) на соответствие Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности [8, 9].

После выполнения целого комплекса подготовительных мероприятий приступаем к работам по совершенствованию системы проветривания предприятия.

Рекомендуемые схемы проветривание добычных блоков (вентиляционных участков) сложных вентиляционных систем с неблагоприятными метеорологическими и газовыми показателями проектируем (модернизируем) с учетом обособленного проветривания очистных заходок, рассредоточенного проветривания. Также возможен вариант с выдачей исходящей струи на вентиляционную выработку, дополнительно пройденную на вентиляционном участке. Различные предлагаемые варианты должны обеспечить устойчивое проветривание в отличие от последовательного проветривания очистных заходок.

Так для оценки накопления вредных примесей при взрывных работах, работе ПДМ, аварийных ситуациях (пожар, взрыв) и влияния техногенных технологических процессов (набор прочности в результате протекания процесса гидратации при твердеющей закладке) производим моделирование при помощи потенциальных возможностей указанных программных продуктов [7, 8].

Как видно по результатам расчётов при последовательном проветривании происходит накопление вредных примесей в рудничной атмосфере. И их дальнейшее разбавление по вентиляционной выработке происходит медленнее.

Для качественного и своевременного проведения работ по совершенствованию системы вентиляции рудника, добывающего богатые железные руды необходимо проводить углубленное изучение фактической аэрологической обстановки, выявление потенциальных источников загрязнения рудничного воздуха. Для принятия решений необходимо опираться на трехмерное математическое моделирование с учетом возможных аварийных режимов проветривания, согласно плану мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий.

При работе опасного производственного объекта определены главные направления при контроле загазованности воздуха рабочей зоны.

Количество подачи свежего воздуха для проветривания горных выработок при работе машин с ДВС, при ведении взрывных работ и других техногенных рисках возможно определить по фактическому количеству вредных выбросов как основному фактору загрязнения рудничной атмосферы.

Основными целями контроля загазованности воздуха рабочей зоны установлены:

- контроль соответствия качества воздуха рабочей зоны установленным нормам;
- оценка эффективности способов проветривания и средств газоподавления;
- выявление связи между изменениями состояния здоровья работающих и их профессиональной деятельностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (Hygienic requirements to occupational microclimate).
2. ГН 2.2.5.1313-03 «Химические факторы производственной среды. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы».
3. ANSYS FLUENT Theory Guide. Release 18.0. ANSYS, Inc. 2017. 1034 p.
4. Отчет о научно-исследовательской работе «Методика расчета воздуха и организация проветривания рудника подземного». Научный руководитель проф., д.т.н. Кобылкин С.С. МГИ, НИТУ МИСИС 2022.
5. Кобылкин А.С. Сравнение результатов шахтных исследований с результатами моделирования процессов пылепереноса и пылеотложения / В книге: Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. 2018. – С. 269-273.

6. Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» Приказ № 505 от 8 декабря 2020 г.

7. Зайцев А.В. Разработка способов нормализации микроклиматических условий в горных выработках глубоких рудников. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. ГИ УрО РАН., г. Пермь 2013. – 168 с.

8. Палеев Д.Ю., Лукашов О.Ю., Костеренко В.Н., Тимченко А.Н. и др. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Кимерийский центр», 2011.-160 с.:ил.,табл. – (Библиотека горного инженера. Т.5 «Промышленная безопасность» Кн.2)

9. Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 декабря 20220 г., № 520.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИНДУСТРИИ 4.0 НА ЭТАПАХ ДРОБЛЕНИЯ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ

Скляр В.А.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»)
vitaliiskliar@gmail.com

Аннотация. *Предложена технологическая схема по внедрению элементов индустрии 4.0 на этапах дробления и измельчения железной руды. Показано, что при внедрении передовых технологий необходимо использовать комплексный подход и внедрять элементы индустрии 4.0 вдоль всей цепочки технологического процесса, что позволит повысить эффективность работы оборудования, снизит количество поломок и несчастных случаев, а также величину себестоимости продукции.*

Ключевые слова: индустрия 4.0; цифровые технологии; машинное зрение; дробление; горно-обогатительный комбинат; обогащение; измельчение.

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGICAL SCHEME FOR THE INTRODUCTION ELEMENTS OF INDUSTRY 4.0 AT THE STAGES OF CRUSHING AND GRINDING OF IRON ORE

Skliar V.A.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. *A technological scheme for the introduction of elements of industry 4.0 at the stages of crushing and grinding of iron ore is proposed. It is shown that when introducing advanced technologies, it is necessary to use an integrated approach and introduce elements of industry 4.0 along the entire process chain, which will increase the efficiency of equipment, reduce the number of breakdowns and accidents, as well as the cost of production.*

Keywords: industry 4.0; digital technologie; machine vision; crushing; mining and processing plant; enrichment, grinding.

Введение

В настоящее время интеграция компонентов Индустрии 4.0 является самым действенным способом увеличения производительности и улучшения качества продукции на действующих промышленных предприятиях [1]. Применение систем машинного зрения, робототехники, интернета вещей, больших данных и прочих инноваций раскрывает перед горной промышленностью новые перспективы. Эти технологии все больше внедряются в производственные процессы, а разработка новых горно-обогатительных комплексов осуществляется с учетом их повсеместного использования [2].

Однако, внедрение технологий индустрии 4.0 сталкивается и с рядом трудностей. Во-первых, требуются значительные инвестиции в модернизацию оборудования и инфраструктуры, что в период ограниченной доступности капитала может вызывать определённые затруднения. Во-вторых, необходимо обучить персонал работе с новыми системами и технологиями, что требует времени и ресурсов. В-третьих, существуют риски кибербезопасности, так как цифровизация увеличивает уязвимость к хакерским атакам и утечкам данных. Кроме того, адаптация к новым технологиям может вызывать сопротивление со стороны сотрудников, привыкших к традиционным методам работы.

Поэтому использование системного подхода к проектированию технологической схемы внедрения элементов индустрии 4.0 на этапах дробления и измельчения железной руды является актуальной задачей.

Постановка задачи

Технология дробления и обогащения железной руды включает несколько этапов. Сначала происходит добыча руды из месторождения. Затем руда транспортируется на дробильно-сортировочные комплексы, где она подвергается процессу дробления и измельчения до нужного размера частиц. После этого руда проходит через систему магнитной сепарации, которая отделяет железосодержащие минералы от пустой породы. Полученные концентраты отправляются на металлургические комбинаты для дальнейшей обработки.

Технологии индустрии 4.0 могут быть использованы на каждом этапе этого процесса. Например, системы машинного зрения могут применяться для контроля качества руды и определения оптимальных параметров дробления. Робототехника может использоваться для выполнения опасных или трудоемких задач. Интернет вещей позволяет создать интеллектуальные сети, которые обеспечивают мониторинг и управление оборудованием в реальном времени, что повышает эффективность производства. Большие данные анализируют информацию о процессе дробления и обогащения, помогая оптимизировать параметры и уменьшить энергопотребление.

Таким образом целью данного исследования было провести анализ основных этапов технологического процесса дробления и измельчения железной руды с предложением решений по модернизации с применением цифровых технологий индустрии 4.0.

Разработка концепции

Использование систем машинного зрения возможно еще на этапе транспортировки руды со склада. Системы машинного зрения позволяют автоматически идентифицировать и классифицировать частицы руды по их размеру и форме. Они используют камеры высокого разрешения и специализированное программное обеспечение для анализа изображений, что позволяет быстро и точно определить наличие негабаритных фракций или нежелательных включений, таких как зубья экскаватора, куски дерева или арматура. Пример такого использования машинного зрения приведен на рис. 1. Контроль возможен с помощью видеокамер установленных на этапах транспортировки и анализу изображений с помощью нейросети [3].

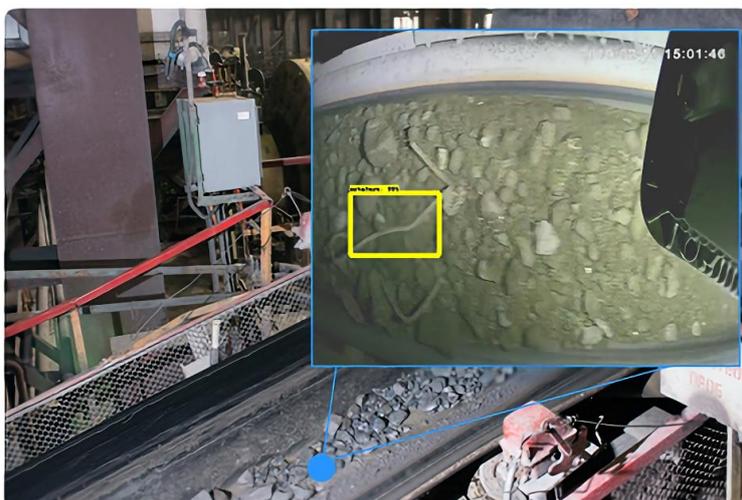


Рис. 1 – Процесс детектирования посторонних предметов в потоке руды

Также использование систем машинного зрения на данном этапе возможно для контроля целостности лент конвейеров.

На этапе дробления руды технологии Индустрии 4.0 могут быть интегрированы для повышения эффективности и точности процесса. Системы машинного зрения также могут использоваться для мониторинга процесса дробления в режиме реального времени. Они позволяют отслеживать размер и форму частиц руды, обнаруживать негабаритные фракции и регулировать параметры дробильного оборудования для достижения оптимальной granulometрии. IoT-устройства могут собирать данные о состоянии оборудования, таких как вибрации, температура и давление, что позволяет своевременно обнаруживать неполадки и предотвращать аварии. Использование робототехники возможно на этапах крупного

дробления и бутобоя. Роботы могут выполнять задачи, требующие высокой точности и повторяемости, такие как позиционирование и загрузка материала в дробилки, что снижает риск ошибок и повышает безопасность труда.

Но наибольшей эффективностей от внедрения элементов индустрии 4.0 можно добиться на этапе измельчения руды.

Использование систем машинного зрения на данном этапе возможно для повышения эффективности работы мельницы путем контроля грансостава загружаемой руды. В этом случае разработать используется система, которая анализирует содержимое конвейера и определяет грансостав руды в реальном времени. По результатам анализа выдаются корректирующие воздействия на параметры работы мельницы с целью наиболее эффективного помола. Схема такой системы приведена на рис. 2 [4].

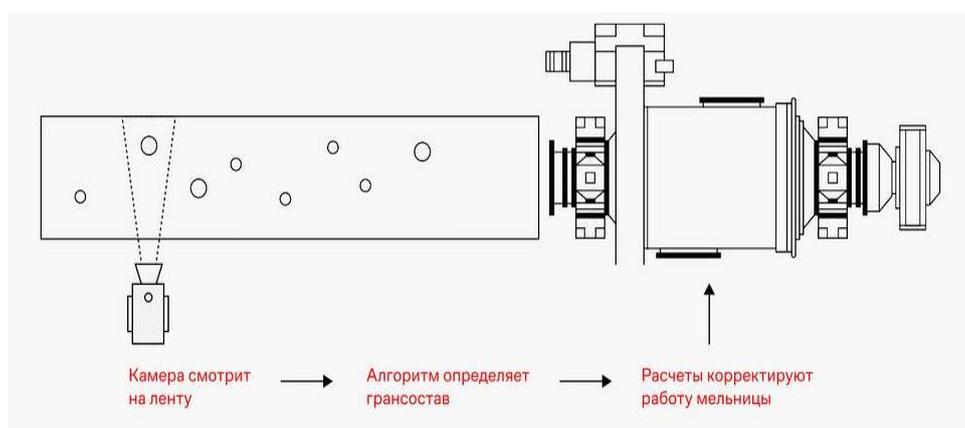


Рис. 2 – Схема работы системы машинного зрения на мельнице

Разработка цифрового двойника шаровой мельницы позволяет:

- осуществлять выбор оптимального режима работы и загрузки мельницы;
- оценивать мгновенный износ футеровки и прогнозирование ее состояния;
- формировать управляющее воздействие на смежные системы автоматизации с целью оптимизации процесса;
- выполнять планирование сервисных или ремонтных работ по фактической необходимости;
- осуществлять раннее выявление механических неисправностей [5].

В СТИ НИТУ «МИСИС» разработана система контроля уровня загрузки шарами мельницы по виброускорению цапфы. Нейросеть контролирует уровень вибраций и по ним определяет загрузку мельницы шарами. Когда загрузка становится недостаточной нейросеть выдает рекомендацию по догрузке мельницы шарами [6].

Процесс измельчения руды на Стойленском ГОКт автоматизирован, однако проходит под контролем операторов. Операторы настраивают оборудование, основываясь на множестве параметров. Для упрощения принятия решений по настройке была разработана и внедрена рекомендательная система "Белка". Система основана на машинном обучении и оценивает работу секции на основании 49 параметров, включая состояние оборудования и объём воды в точках подачи. Каждые полчаса система предоставляет рекомендации по изменению настроек дробилок и мельниц для достижения необходимого качества концентрата. Оператор самостоятельно принимает решение следовать этим рекомендациям или нет [7].

Укрупненная схема предложенных нововведений по внедрению цифровых технологий индустрии 4.0 на этапах дробления и измельчения железной руды представлена на рис 3.

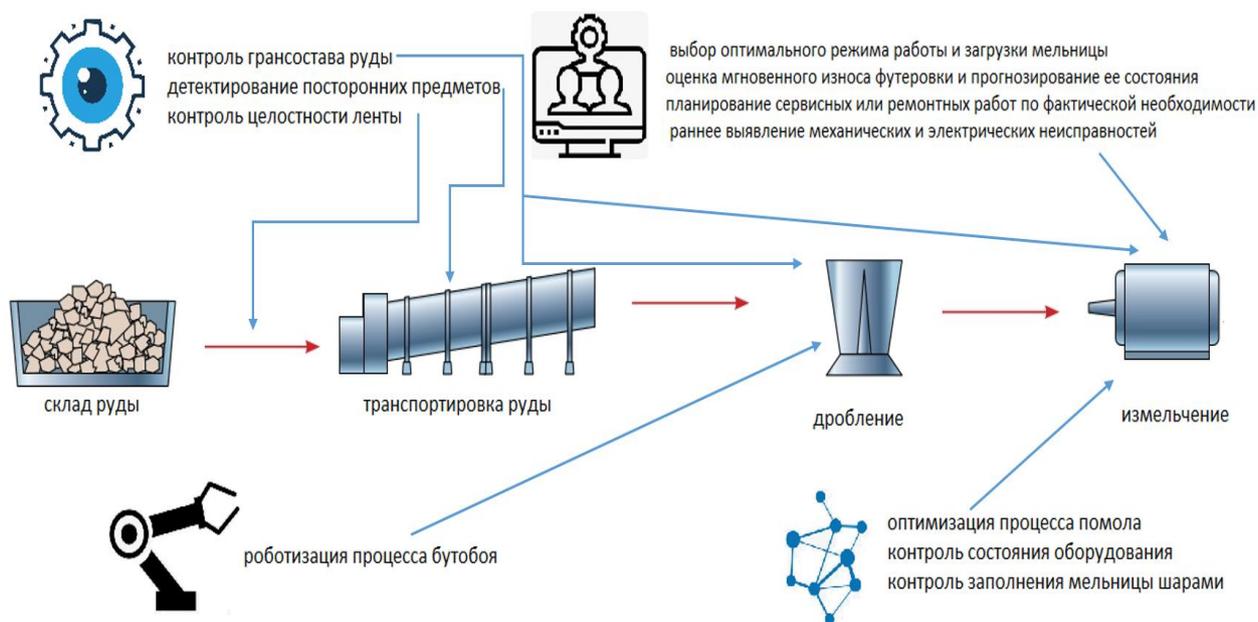


Рис. 3 – Укрупненная схема внедрения цифровых технологии на этапах дробления и измельчения железной руды

Результаты и их обсуждение

Анализ источников об внедрении аналогичных мероприятий на действующих горнообогатительных предприятиях показывает, что следует ожидать следующих эффектов:

- Использование систем машинного зрения позволяет добиться увеличения производительности на 1,5 % при снижении производственной себестоимости до 5% [4].
- Использование цифровых двойников позволяет уменьшить себестоимости продукции за счет снижения электропотребления, расхода шаровой и футеровочной стали и

гибкого управления производственными ресурсами, снизить простой оборудования за счет оптимального режима работы оборудования и раннего выявления перегрузов/недогрузов оборудования [5].

- Использование нейросетей в режиме подсказчика позволяет увеличить производительность на 1,52% [7].

Вывод

Предложена технологическая схема по внедрению элементов индустрии 4.0 на этапах дробления и измельчения железной руды. Показано, что использование технологий машинного зрения, нейронных сетей, интернета вещей и цифровых двойников повысит эффективность работы дробильного и мелющего оборудования, снизит количество поломок и несчастных случаев, а также величину себестоимости продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Лукичев, С. В. Цифровая трансформация горнодобывающей промышленности / С. В. Лукичев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S37. – С. 7-20.
2. Разработка технологической схемы внедрения элементов индустрии 4.0 на горнодобывающих предприятиях / В. А. Складар, А. Х. Шарипов, А. А. Складаров [и др.] // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. – Старый Оскол: 2023. – С. 176-180.
3. Как используют Machine Learning и Computer Vision на обогатительных фабриках [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/companies/skillfactory/articles/530278/> (дата обращения 13.11.24)
4. Машинное зрение на производстве железной руды [Электронный ресурс] URL: <https://redmadrobot.ru/data-science-1/ii-na-proizvodstve> (дата обращения 13.11.24)
5. Цифровой двойник процессов дробления, грохочения, измельчения и классификации [Электронный ресурс] URL: <https://www.datadvance.ru/> (дата обращения 13.11.24)
6. О возможности определения уровня загрузки шаровой мельницы в результате нейросетевого анализа спектра сигнала виброускорения ее цапфы / Ю. И. Еременко, Д. А. Полещенко, А. И. Глущенко, Ю. М. Пожарский // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 1. – С. 38-47.
7. Как «белка» с ИИ сэкономила нам 100 миллионов на обогащении руды [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/companies/nlmc/articles/580984/> (дата обращения 13.11.24)

ПОДХОД АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОТМЫВКИ КОНЦЕНТРАТА В СЕПАРАТОРЕ МАГНИТНО-ГРАВИТАЦИОННОГО ТИПА НА ПРИМЕРЕ ФАБРИКИ ОБОГАЩЕНИЯ АО «СТОЙЛЕНСКИЙ ГОК»

Тараненко М.Е., Попова М.А.

*Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
(ГФ НИТУ «МИСИС»)*

Аннотация. В статье рассматривается способ модернизации автоматизированной системы управления технологическим процессом отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения. За счет модернизации процесса повысится качество управления процессом, протекающим в сепараторе магнитно-гравитационного типа, снизится выпуск концентрата с отклонением по степени отмывки от кремния и других пустых пород, повысится производительность сепаратора магнитно-гравитационного типа, следовательно, снизится себестоимость продукции - повысится эффективность процесса отмывки концентрата от примесей, снизится удельный расход электроэнергии и увеличится энергоэффективность процесса.

Ключевые слова: автоматизированная система управления технологическим процессом; фабрика обогащения; промышленное предприятие; сепаратор; сепаратор магнитно-гравитационного типа; концентрат; повышение качества управления процессом.

PRINCIPLES OF AUTOMATION OF THE PROCESS OF WASHING CONCENTRATE IN A MAGNETIC GRAVITY SEPARATOR USING THE EXAMPLE OF THE ENRICHMENT PLANT BY SGOK

Taranenko M.E., Popova M.A.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. The article discusses a method for modernizing an automated control system for the technological process of washing concentrate in a magnetic gravity separator at an enrichment plant. Due to the modernization of the process; the quality of control of the process occurring in the magnetic gravity type separator will increase; the output of concentrate with a deviation in the degree of washing from silicon and other waste rocks will decrease; the productivity of the magnetic gravity type separator will increase; therefore; the cost of production will decrease - the

efficiency of the concentrate washing process from impurities will increase; the specific energy consumption will decrease and increase energy efficiency of the process.

Keywords: automated process control system; enrichment factory; industrial enterprise; separator; magnetic gravity type separator; concentrate; improving the quality of process control.

Актуальность внедрения автоматизированной системы управления технологическим процессом отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения необходима для повышения качества управления процессом; протекающем в сепараторе магнитно-гравитационного типа; для сокращения выпуска концентрата с отклонением по степени отмывки от кремния и других пустых пород; сокращения расхода электроэнергии.

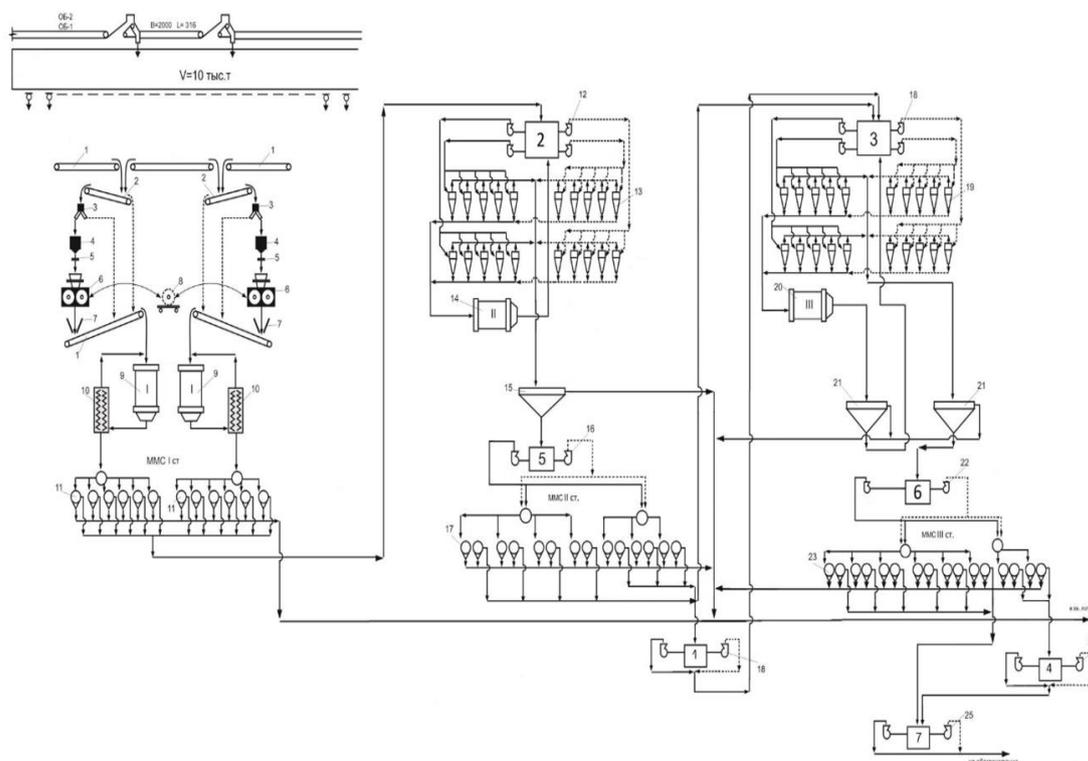


Рис.1 – Технология передела обогащения фабрики обогащения

Задача для всего технологического процесса обогащения включает:

- 1) Максимизация загрузки технологического оборудования в соответствии с фактическими параметрами перерабатываемой рудой.
- 2) Минимизация удельных затрат электроэнергии.
- 3) Высокое качество продукции.
- 4) Дистанционное регулирование и контроль технологического процесса.

При этом; на каждой отдельной стадии процесса существуют специфические задачи; требующие автоматизации:

- Стадия дробления – дробление руды до заданной крупности;
- Стадия измельчения – нормированная крупность продукта; разделение нагрузки по стадиям при много стадийном режиме работы;
- Стадия классификации – эффективность разделения промпродукта;
- Стадия фильтрации – эффективность обезвоживания продукта.

Магнитный сепаратор МГС-2_0; далее сепаратор; предназначен для обесшламливания и сгущения пульпы сильномагнитных руд крупностью 1 -0 мм при содержании твёрдого 10-20% с содержанием фракции 0;05 мм не менее 65%.

Схема конструкции магнитного сепаратора магнитно-гравитационного типа представлена на рисунке:

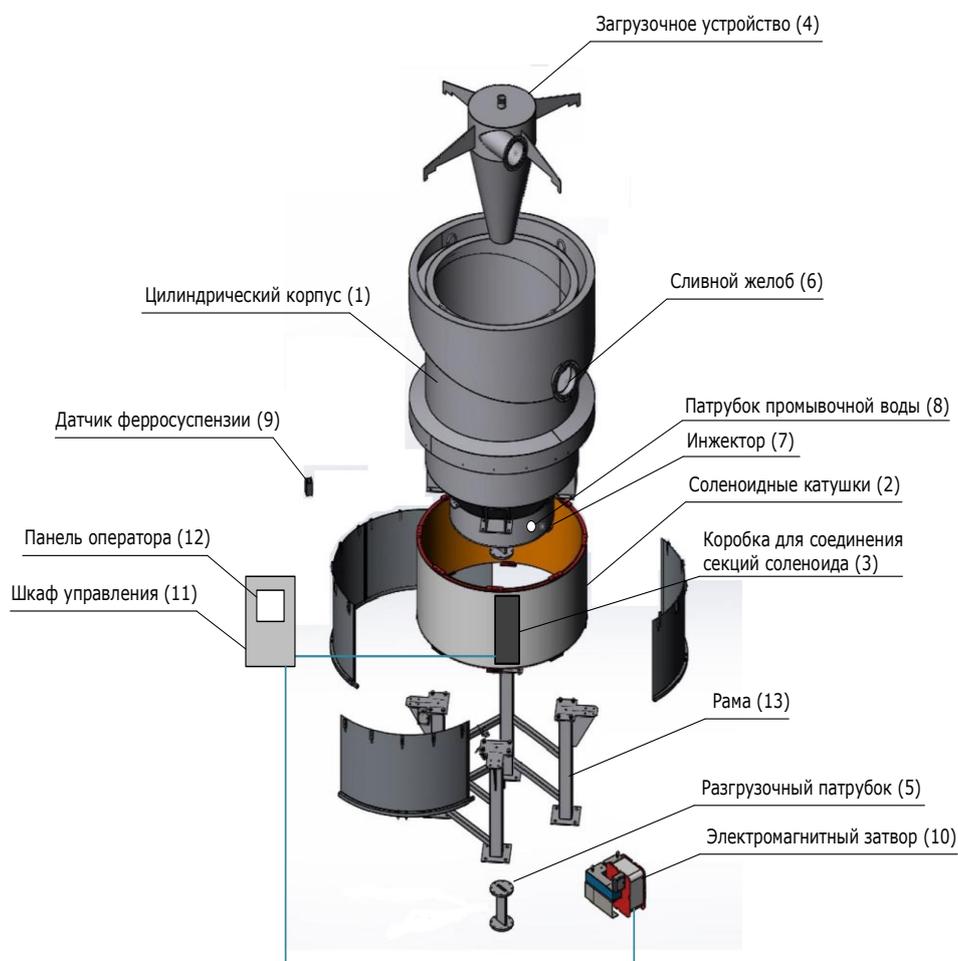


Рис. 2 – Схема конструкции магнитного сепаратора магнитно-гравитационного типа

Техническая характеристика магнитного сепаратора магнитно-гравитационного типа МГС-2_0 представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры магнитного сепаратора магнитно-гравитационного типа

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Длина	2410
2	Ширина	2410
3	Высота	4240
4	Масса; кг	2500
5	Высота цилиндра; мм	2000
7	Потребляемая мощность; кВт	8
8	Диаметр; мм	1919
9	Расход воды в сепаратор; м ³ /час	220
10	Давление воды в сепаратор; атм	3 - 4
11	Напряженность катушки намагничивания сепаратора; кА/м	55
12	Содержание твердого во входной пульпе; %	20-60
13	Грансостав частиц входной пульпы; мм	0;2
14	Производительность сепаратора в разгрузке; т/час	30-65

Недостатки существующей системы:

1. АСУТП отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения представляет собой локальную систему ручного местного управления; где автоматизация практически не предусмотрена.

2. Отсутствует возможность расширения функционала АСУТП отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения; т.е. существующие технические и программные средства системы не позволяют это сделать.

3. Для управления процессом отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения технологический персонал должен присутствовать на месте в цехе:

- зрительный местный контроль уровня магнитной среды в сепараторе магнитно-гравитационного типа;
- зрительный местный контроль уровня (высоты порога) слива из сепаратора магнитно-гравитационного типа;
- зрительный местный контроль положения задвижки подачи входной пульпы в сепаратор;
- зрительный местный контроль положения задвижки подачи воды в сепаратор;
- зрительный местный контроль тока электромагнитной катушки намагничивания сепаратора;
- зрительный местный контроль тока электромагнитной катушки затвора разгрузки;
- зрительный местный контроль расхода в линии подачи воды;
- зрительный местный контроль температуры в линии подачи воды;
- ручное местное управление задвижкой подачи входной пульпы в сепаратор;

- ручное местное управление задвижкой подачи воды в сепаратор;
- ручной местный запуск (останов) привода насоса подачи воды;
- ручное местное управление блоками тиристорного управления электромагнитными катушками (намагничивания сепаратора и затвора в разгрузке агрегата).

4. Функции дистанционного мониторинга переменных процесса отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения – не реализованы.

5. Функции дистанционных управляющих воздействий процесса отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения – не реализованы.

6. Высокоточные системы автоматического регулирования процесса отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения – не реализованы.

7. Система удаленной визуализации процесса отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения – не реализована.

8. Низкая скорость принятия важных производственных решений.

9. Низкая точность стабилизации процесса работы сепаратора магнитно-гравитационного типа.

10. Низкая производительность сепаратора магнитно-гравитационного типа.

11. Низкая эффективность работы сепаратора магнитно-гравитационного типа по необходимой степени отмывки концентрата от кремния.

12. Высокий перерасход электроэнергии; связанный с неэффективной стабилизацией процесса сепаратора магнитно-гравитационного типа.

13. Низкое качество продукта (отмытого от кремния концентрата); связанное с отклонением качества отмывки.

14. Эффективность и энергоэффективность процесса отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения в частности качества отмывки концентрата; расхода электроэнергии – низкая.

Повышение эффективности технологического процесса отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения за счет:

1. Внедрения дополнительных технических средств контроля; информация с которых будет использоваться в алгоритме новой системы автоматического управления сепаратором; а именно:

- новый контроллер АСУТП сепаратора магнитно-гравитационного типа;
- компьютеры станций инженера и оператора технолога;

- сенсора уровня магнитной среды в сепараторе магнитно-гравитационного типа;
- сенсора уровня (высоты порога) слива из сепаратора магнитно-гравитационного типа;
- сенсора положения задвижки подачи входной пульпы в сепаратор;
- сенсора положения задвижки подачи воды в сепаратор;
- сенсора тока электромагнитной катушки намагничивания сепаратора;
- сенсора тока электромагнитной катушки затвора разгрузки;
- сенсора расхода в линии подачи воды;
- сенсора температуры в линии подачи воды;
- автоматизированной задвижки подачи входной пульпы в сепаратор;
- автоматизированной задвижки подачи воды в сепаратор;
- асинхронной электрической машины привода насоса подачи воды;
- блоков тиристорного управления электромагнитными катушками соленоидов;
- электромагнитной катушки намагничивания сепаратора;
- электромагнитной катушки затвора в разгрузке агрегата.

2. Разработка высокоточных систем автоматического регулирования сепаратора магнитно-гравитационного типа магнитного с использованием аналогового принципа управления:

- контур регулирования (стабилизации) уровня магнитной среды в емкости сепаратора магнитно-гравитационного типа (регулирование расхода магнитного продукта в разгрузке сепаратора с применением изменения степени открытия электромагнитного затвора разгрузки);

- контур регулирования (стабилизации) уровня (высоты порога) слива из сепаратора магнитно-гравитационного типа (регулирование расхода воды в сепаратор с применением изменения степени открытия электрически управляемой задвижки).

3. Модернизация АСУТП отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения будет производиться с использованием новой контроллерной техники АСУТП.

Структура модернизированной АСУТП отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения показана на рисунке:

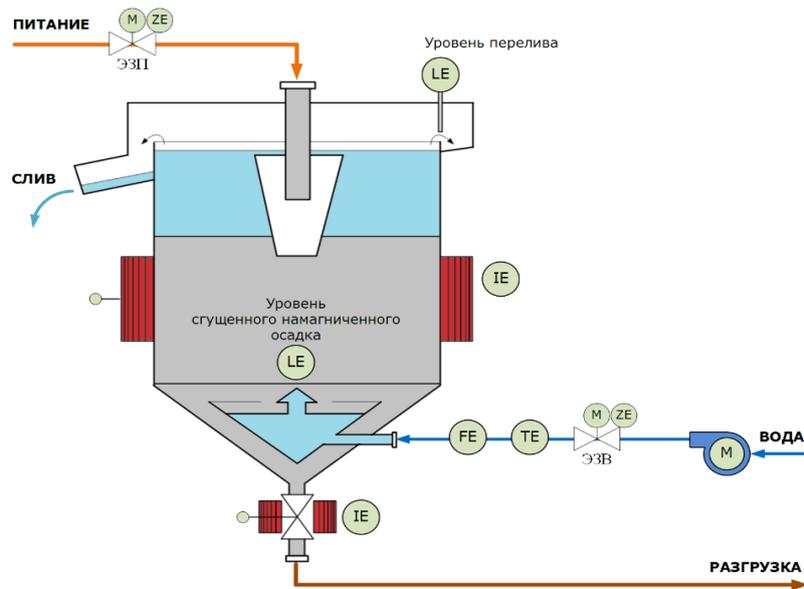


Рис. 3 – Новая структура АСУТП отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения

Структура контура регулирования (стабилизации) уровня магнитной среды в емкости сепаратора магнитно-гравитационного типа (регулирование расхода магнитного продукта в разгрузке сепаратора с применением изменения степени открытия электромагнитного затвора разгрузки) АСУТП отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения:

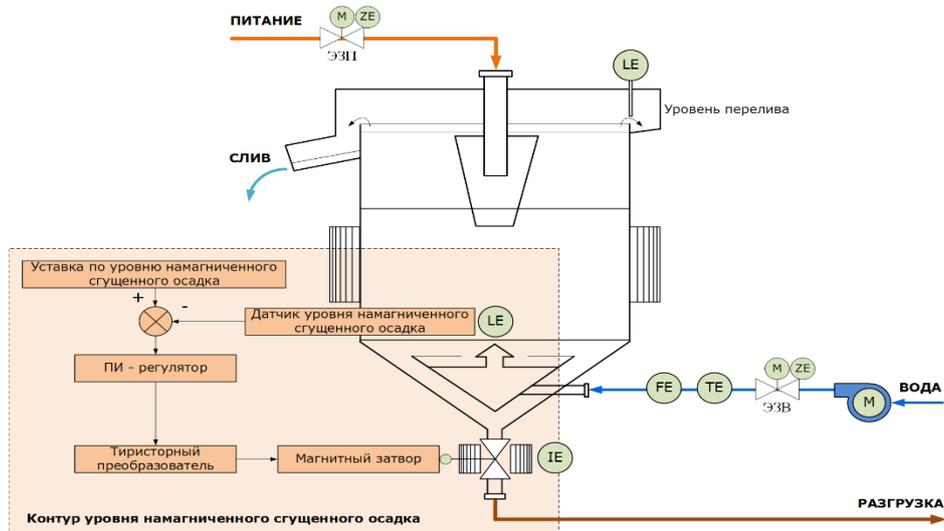


Рис. 4 – Структура контура регулирования (стабилизации) уровня магнитной среды в емкости сепаратора магнитно-гравитационного типа (регулирование расхода магнитного продукта в разгрузке сепаратора с применением изменения степени открытия электромагнитного затвора разгрузки) АСУТП отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения

Структура контура регулирования (стабилизации) уровня (высоты порога) слива из сепаратора магнитно-гравитационного типа (регулирование расхода воды в сепаратор с применением изменения степени открытия электрически управляемой задвижки) АСУТП отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения:

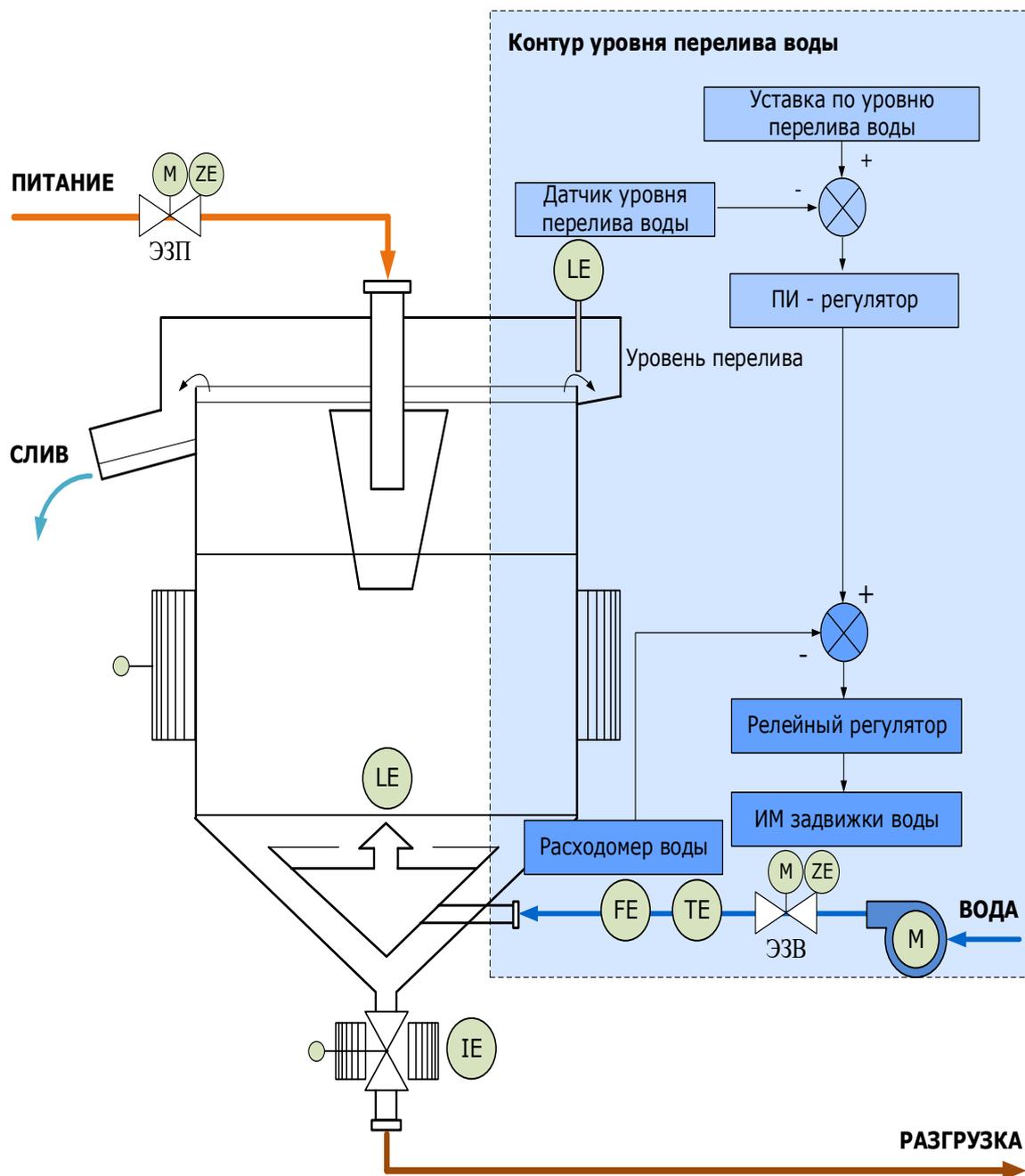


Рис. 5 – Структура контура регулирования (стабилизации) уровня (высоты порога) слива из сепаратора магнитно-гравитационного типа (регулирование расхода воды в сепаратор с применением изменения степени открытия электрически управляемой задвижки) АСУТП отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения

Схемы КТС модернизированной АСУТП отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения:

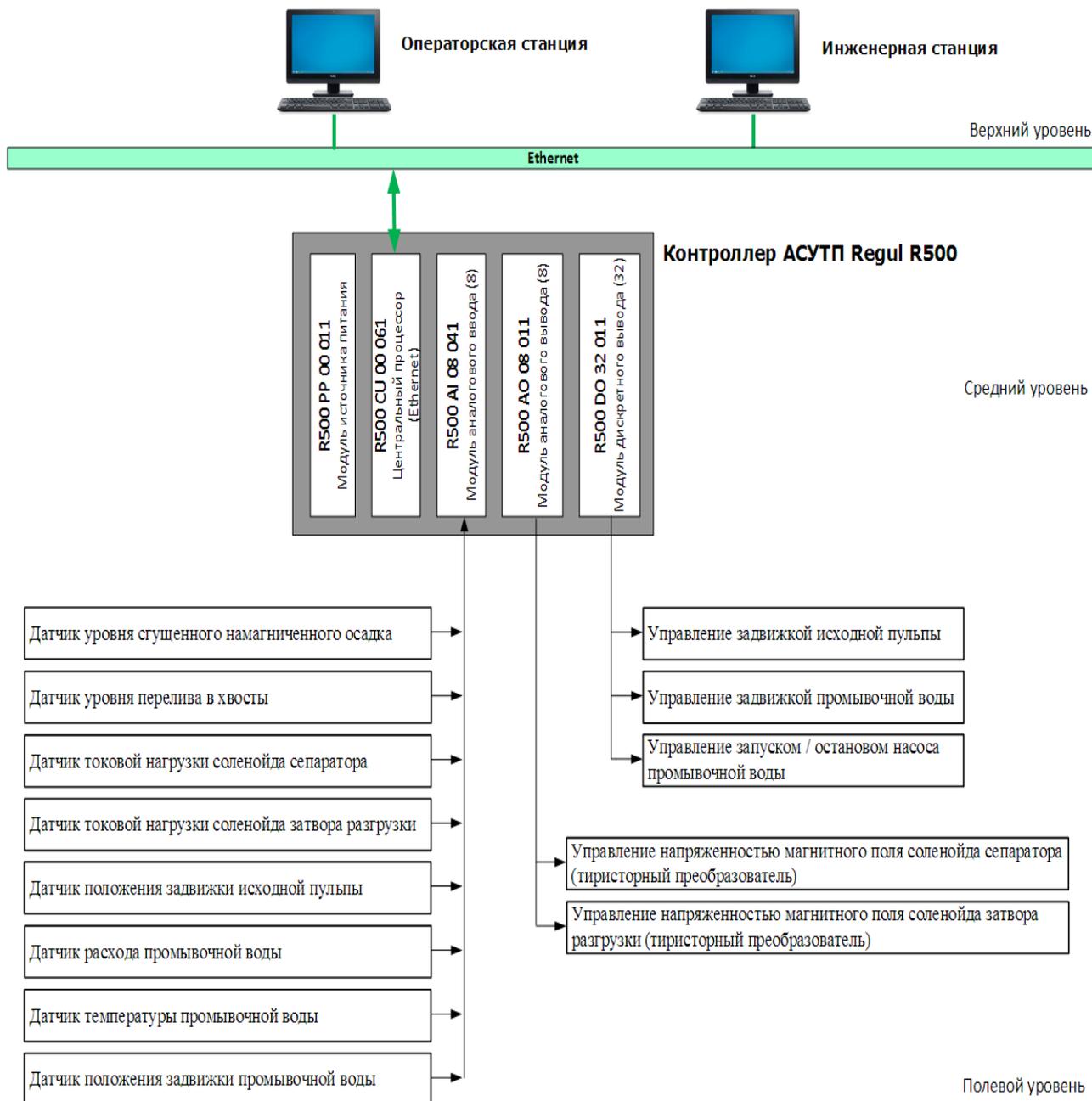
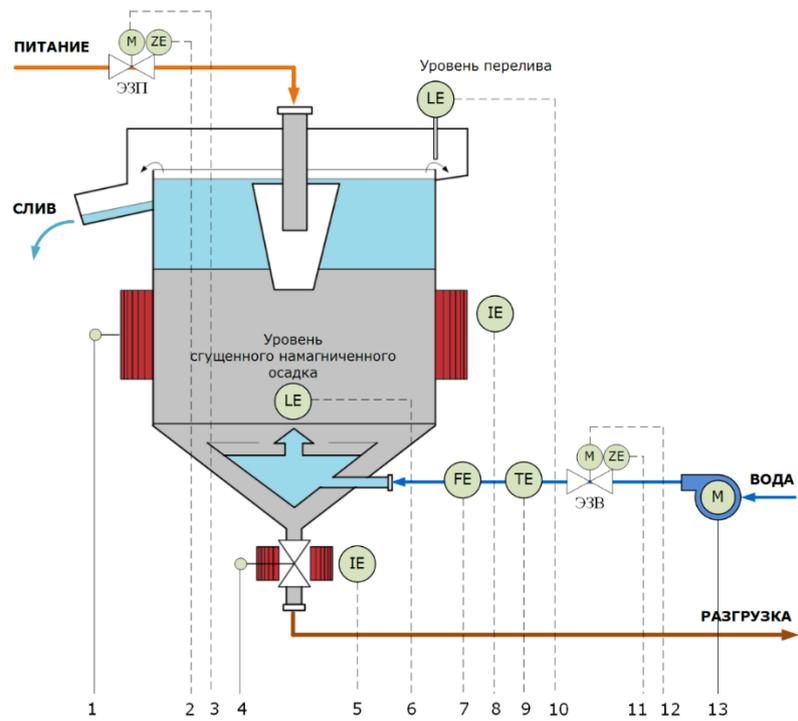


Рис. 6 – Схемы КТС модернизированной АСУТП отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения

Модернизированная функциональная схема АСУТП отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения представлена на рисунке 7.



		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
		Управление напряженностью магнитного поля сепаратора		Положение задвижки исходной пуллы		Управление напряженностью магнитного поля сепаратора загрузки		Точная нагрузка солевого раствора загрузки		Уровень сточного намагниченного осадка		Расход промывочной воды		Точная нагрузка солевого раствора сепаратора	
		Управление заливкой промывочной воды		Управление напряженностью магнитного поля сепаратора загрузки		Точная нагрузка солевого раствора загрузки		Уровень сточного намагниченного осадка		Расход промывочной воды		Управление заливкой промывочной воды / управление запуском / остановом насоса промывочной воды		Управление заливкой промывочной воды / управление запуском / остановом насоса промывочной воды	
Слововой шкаф	IC														
	AI														
	AO														
	DI														
	DO														
	Modbus RTU														
Ethernet															
APM	Ethernet														

Рис. 7 – Модернизированная функциональная схема АСУТП отмытки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения

Разработана форма визуализации модернизированной АСУТП отмытки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения:

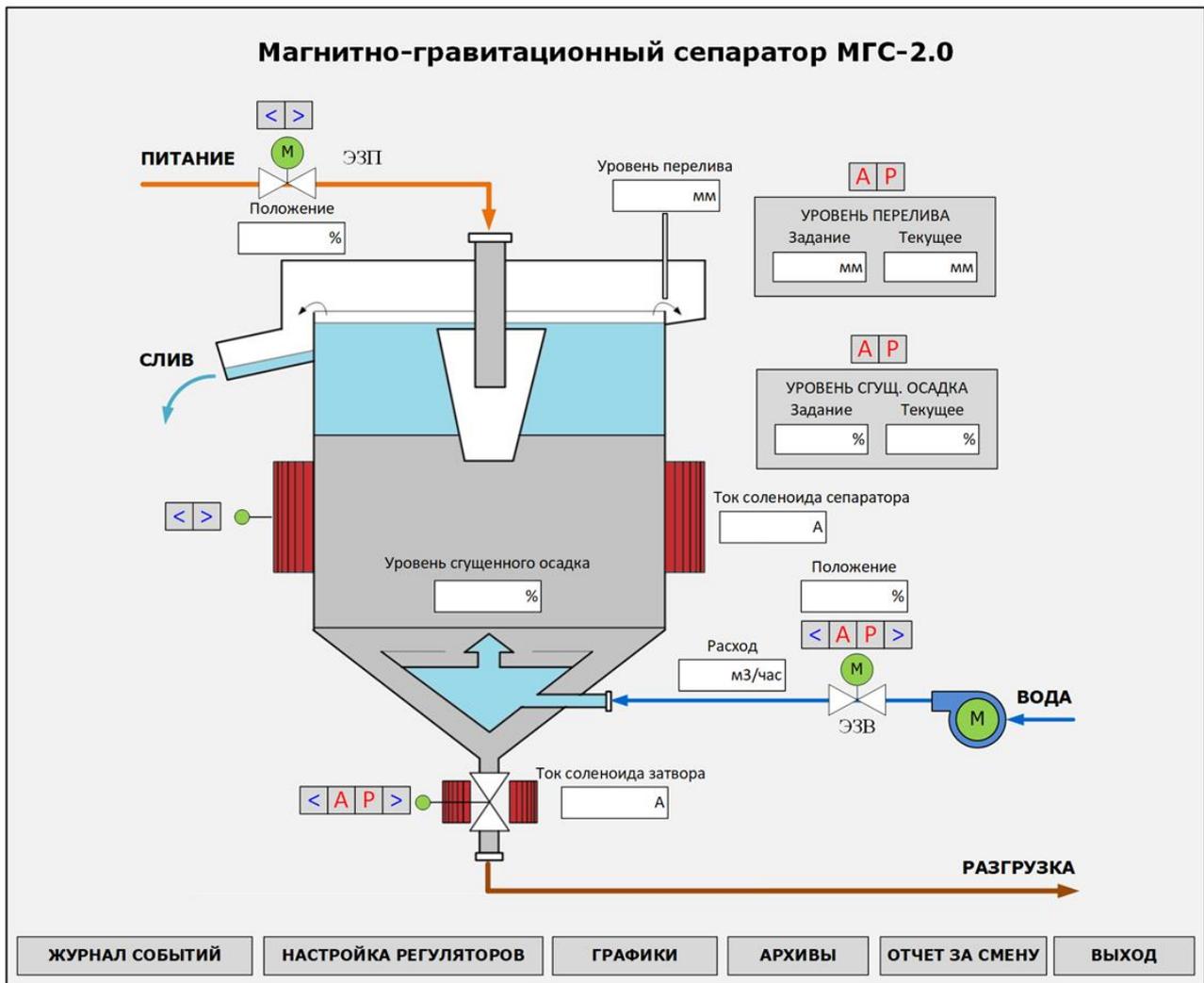


Рис. 8 – Форма визуализации модернизированной АСУТП отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения

Модернизация АСУТП отмывки концентрата в сепараторе магнитно-гравитационного типа на фабрике обогащения позволит оптимизировать процесс работы сепаратора магнитно-гравитационного типа за счет значительного повышения качества и точности регулирования контуров автоматического регулирования из-за изменения алгоритма их работы и внедрения новых технических средств:

- повысится качество управления процессом; протекающем в сепараторе магнитно-гравитационного типа;
- снизится выпуск концентрата с отклонением по степени отмывки от кремния и других пустых пород; повысится производительность сепаратора магнитно-гравитационного типа; следовательно; снизится себестоимость продукции - повысится эффективность процесса отмывки концентрата от примесей;

- снизится удельный расход электроэнергии - увеличится энергоэффективность процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Виноградов; В.М. Автоматизация технологических процессов и производств. Введение в специальность: Учебное пособие / В.М. Виноградов; А.А. Черепашин. - М.: Форум; 2018. - 305 с.
2. Селевцов; Л.И. Автоматизация технологических процессов / Л.И. Селевцов; А.Л. Селевцов. - Вологда: Инфра-Инженерия; 2014. - 352 с.
3. Автоматизация обогатительных фабрик: учеб. пособие/ А.В.Титовский; А.А.Дружинина; Н.В.Федорова. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т; 2012. – 164 с.
4. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка. Учебно-практическое пособие. – М.: Инфра-Инженерия; 2008. – 928 с.; 12 ил.

УДК 681.5

ПОДБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ ВЛАГИ В КОНЦЕНТРАТЕ

Тараненко М.Е., Скрылев Д.Р.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), taranenko@yandex.ru, 8-920-597-85-98

***Аннотация.** Переход с радиоизотопных анализаторов влажности на электронные. Разработка технического решения для контроля массовой доли влаги в концентрате, с последующей его интеграцией в АСУТП фабрики окомкования ФОК.*

Ключевые слова: фабрика окомкования; подготовка шихты; влажность железорудного концентрата; влагомер; контроль влажности в потоке на конвейере.

SELECTION OF AUTOMATIC MEANS OF MEASURING THE MASS FRACTION OF MOISTURE IN THE CONCENTRATE

Taranenko M.E., Skrylev D.R.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** The transition from radioisotope moisture analyzers to electronic ones. Development of a technical solution for controlling the mass fraction of moisture in the concentrate, followed by its integration into the control system of the FLC pelletizing plant.*

Keywords: pelletizing factory; charge preparation; humidity of iron ore concentrate; moisture meter; humidity control in the flow on the conveyor.

ВВЕДЕНИЕ

Влажность исходного концентрата – важнейший показатель работы передела окомкования. От влажности концентрата зависит грансостав производимых окатышей, соответственно количество возвратной продукции.

Технологический персонал должен иметь информацию по исходной влаге в концентрате, для быстрого принятия управленческих решений:

- регулирование дозирования бентонита в шихту;

- регулирование количества воды в окомкователи при производстве окатышей.

Цель работы: Переход с радиоизотопных анализаторов влажности на электронные.

Основные задачи, отражающие требования к содержанию работы: Подобрать электронный влагомер на конвейерах, подающих концентрат на ФОК, выполнить вывод сигнала в информационную систему ФОК.

Описание ожидаемого результата: Переход с дорогостоящих радиоизотопных анализаторов влажности (требующих дорогостоящее обслуживание) на электронные.

Исходные данные (предоставляет заказчик):

- технология ФОК;
- инструкция по эксплуатации существующих влагомеров;
- существующий регламент подготовки отбора проб и контроля влажности концентрата;
- инструкция по автоматизации ФОК.

Существующее положение контроля влажности концентрата на ФОК

На данный момент для контроля влажности железорудного концентрата на конвейерах ФОК установлены анализаторы влажности LB350 BERTHOLD.

Общий вид анализатор влажности LB350 BERTHOLD приведен на рисунке 1.



Рис. 1. – Общий вид анализатор влажности LB350 BERTHOLD

Принцип измерения

Ядерный метод измерения влажности основывается на принципе замедления быстрых нейтронов при соударении с ядрами атомов водорода. При соударении быстрых нейтронов с

ядрами элементов с более высоким атомным весом, замедления практически не происходит. Вокруг источника быстрых нейтронов образуется облако тепловых нейтронов, концентрация которых находится в прямой зависимости от содержания водорода в окружающей среде. При объединении источника быстрых нейтронов с детектором тепловых нейтронов, измерительная система в состоянии определить содержание водорода без контакта с измеряемым продуктом. Поскольку вода содержит атомы водорода (H₂O), объемная влажность определяется непосредственно.

Принцип работы анализатора влажности LB350 BERTHOLD приведен на рисунке 2.

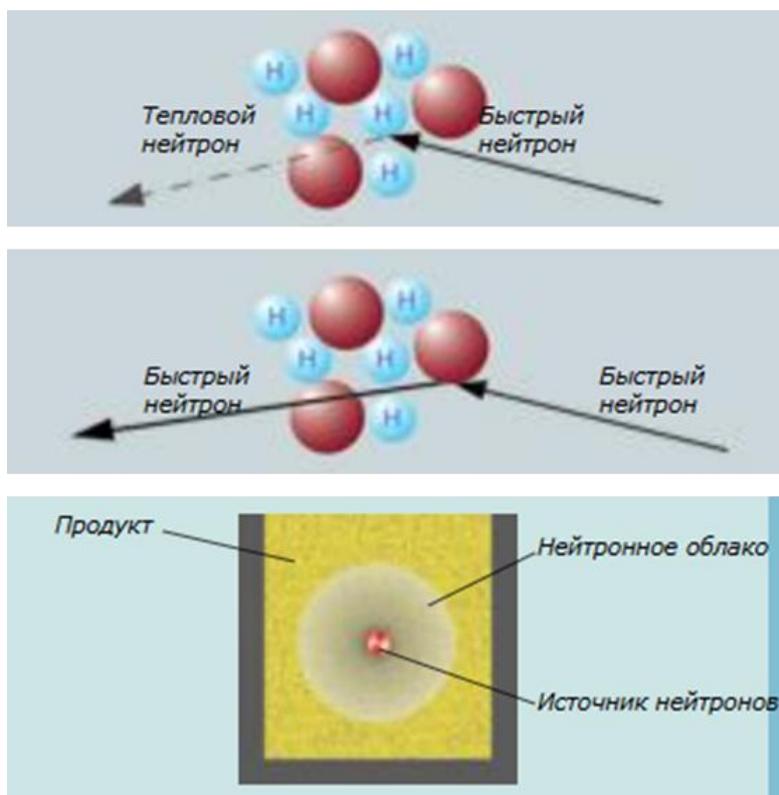


Рис. 2 – Принцип работы анализатора влажности LB350 BERTHOLD

Меры радиационной безопасности

Даже для нейтронного источника с активностью 3,700 МБк, в воздухе граница контрольной зоны с мощностью излучения > 3 микроЗв/ч находится на расстоянии уже 80 см от источника.

Схема контроля влажности LB350 с погружным зондом приведена на рисунке 3.



Рис. 3 – Схема контроля влажности LB350 с погружным зондом

Схема установке на конвейере LB350 BERTHOLD приведена на рисунке 4.

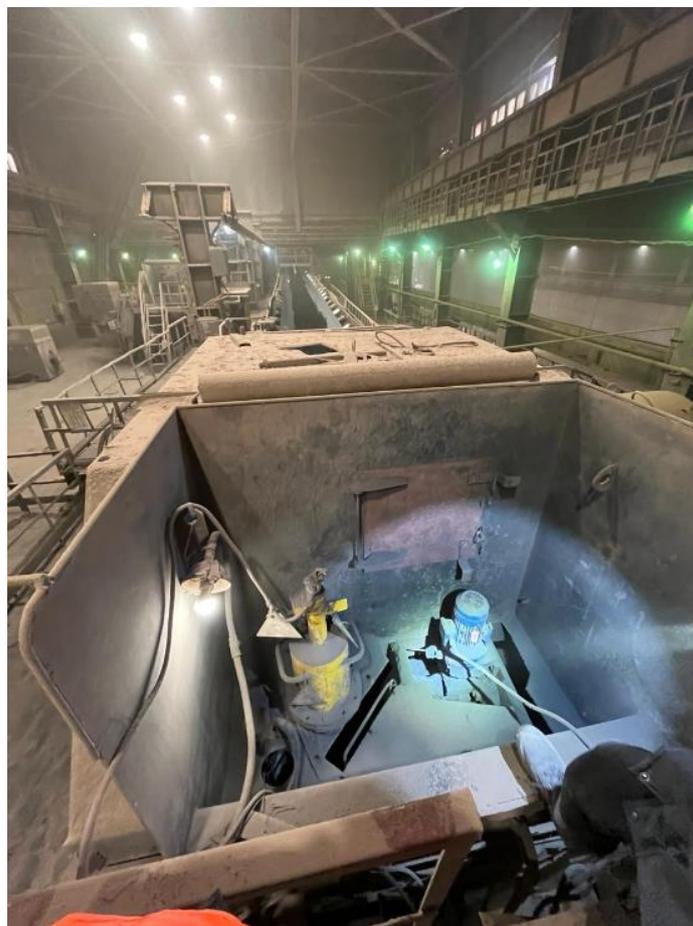


Рис. 4 – Схема установке на конвейере LB350 BERTHOLD

Технические характеристики влагомера LB350 BERTHOLD приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики влагомера LB350 BERTHOLD

№	Характеристики	Значение
1	Принцип измерения	радиоизотопный
2	Диапазон измеряемой влажности, %	0 - 100
3	Основная относительная погрешность, %, не более	0.1 в зависимости от применения
4	Возможность анализа магнетитовых руд	да
5	Толщина слоя исследуемого материала, мм	0-1000
6	Температура контролируемого материала, °С	от 0 до +50
7	Режим работы	дискретный
8	Напряжение питания, В/Гц	220 / 50
9	Потребляемая мощность, ВА, не более	25
10	Токовый выход, мА	0...20; 4...20
11	Степень защиты блока электроники	IP 65
12	Стоимость оборудования (ориентировочно), руб	3 500 000
13	Страна производитель	Германия

Ориентировочные затраты при эксплуатации существующих влагомеров LB350 BERTHOLD до внедрения:

- **затраты по ремонту и обслуживанию** существующих влагомеров LB350 (10% от стоимости в год). Ориентировочная стоимость одного влагомера LB350 = **3 000 000 руб.**

- **затраты на закупку новых и утилизацию** отработанных источников ионизирующего излучения ИИИ для существующих влагомеров LB350 (1 раз в 10 лет). Ориентировочная стоимость для одного ИИИ = **1 000 000 руб.**

- **затраты на обслуживание** влагомеров специалистами участка радиоизотопной автоматики, а также руководителей подразделений по обеспечению безопасности и учета и контроля ИИИ в год = **1 000 000 руб.**

Годовые затраты при эксплуатации влагомеров LB350 BERTHOLD приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Годовые затраты при эксплуатации влагомеров LB350 BERTHOLD

№	Наименование затрат	Сумма, руб
1	Затраты по ремонту и обслуживанию существующих влагомеров LB350 (3шт.)	900 000
2	Затраты на закупку новых и утилизацию отработанных источников ИИИ для существующих влагомеров LB350 (3шт.)	300 000
3	Затраты на обслуживание влагомеров специалистами участка радиоизотопной автоматики, а также руководителей подразделений по обеспечению безопасности и учета и контроля	1 000 000

	ИИИ	
	Итого:	2 200 000

Преимущества влагомеров LB350 BERTHOLD:

- репрезентативный результат в силу значительного объема продукта, проходящего через измерение;
- точное измерение благодаря использованию высокочувствительных газоразрядных счетчиков ^3He ;
- на измерение не влияет: Температура, Давление, Кислотно-щелочной баланс, Цвет.

Недостатки влагомеров LB350 BERTHOLD на ФОК:

- использование источников ионизирующего излучения ИИИ (радиоизотопный принцип работы);
- опасность действия ИИИ на технологический персонал;
- необходимость обеспечения мер радиационной безопасности для защиты персонала и ведения учета и контроля ИИИ в подразделении;
- работы по обслуживанию влагомера должен выполнять персонал участка радиоизотопной автоматики (который должен быть в штате предприятия);
- большие затраты при эксплуатации влагомеров;
- более того, сентябре 2024г. заканчивается возможный срок эксплуатации существующих влагомеров LB350 - данные влагомеры будут демонтированы, а ИИИ утилизированы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Первый вариант предлагаемого технического решения - влагомер MR112K13K ООО «МИКРОРАДАР-СЕРВИС»

Метод измерения влагомера MR112K13K ООО «МИКРОРАДАР-СЕРВИС» - микроволновой (контактный).

Общий вид влагомера МИКРОРАДАР-MR112K13K приведен на рисунке 5.



Рис. 5 – Общий вид влагомера МИКРОРАДАР-MR112K13K

Схема работы влагомера МИКРОРАДАР-MR112K13K приведена на рисунке 6.

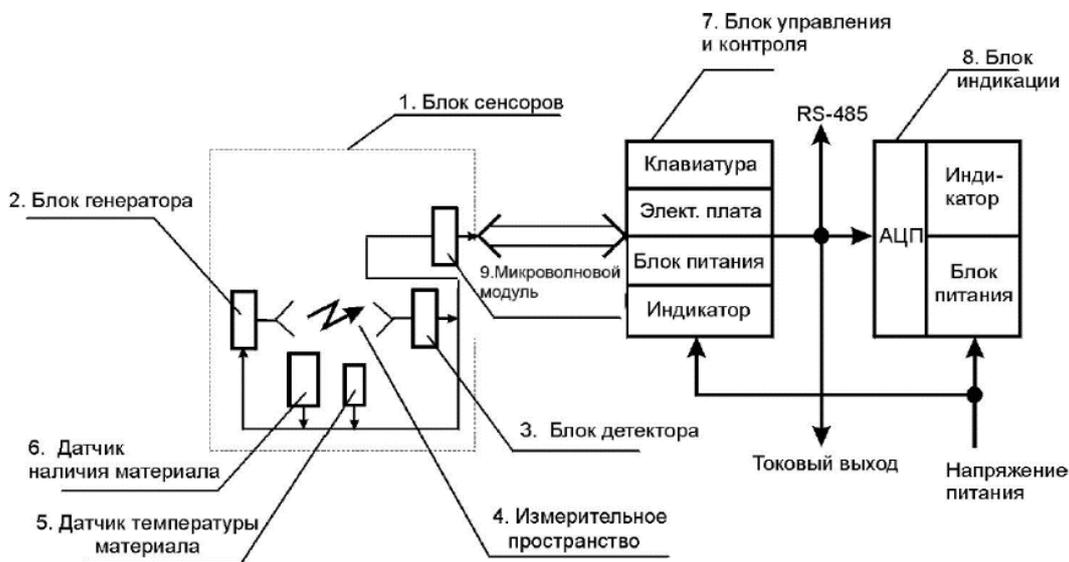


Рис. 6 – Схема работы влагомера МИКРОРАДАР-MR112K13K

Принцип измерения:

Принцип действия влагомера основан на измерении величины ослабления СВЧ-энергии влажным материалом и преобразовании этой величины в цифровой код, соответствующий влажности материала.

Влагомер МИКРОРАДАР-112К13К состоит из блока сенсоров (БС) и блока управления и контроля (БУК). Кроме этого, влагомер может комплектоваться выносным блоком индикации (БИ). Блок сенсоров состоит из микроволнового модуля (ММ), включающего в себя СВЧ-генератор, СВЧ-детектор и согласующие СВЧ-элементы, и собственно датчика, состоящего из датчика влажности (СВЧД) и датчика температуры (ДТ).

На СВЧ-генератор поступает питающее напряжение и управляющие сигналы, формируемые в блоке управления и контроля (БУК). СВЧ-генератор вырабатывает непрерывный СВЧ-сигнал, который излучается в измерительное пространство антенной СВЧД. Излучаемый СВЧ-сигнал проходит через измеряемый материал и поступает на приемную антенну СВЧД, затем в СВЧ-детектор в микроволновом модуле, где складывается с опорным сигналом, поступающим по СВЧ-кабелю с СВЧ-генератора.

Суммарный сигнал детектируется и поступает на вход БУК для обработки и измерения. На вход БУК поступают также сигналы датчика наличия материала (ДНМ), датчика уровня (ДУ) или конвейерных весов и датчика температуры (ДТ) контролируемого материала. При сигнале датчика наличия материала об отсутствии контролируемого материала в измерительном пространстве, измерение параметров сигнала не производится.

Схема установки влагомера МИКРОРАДАР-112К13К на конвейере без пробоотборника:

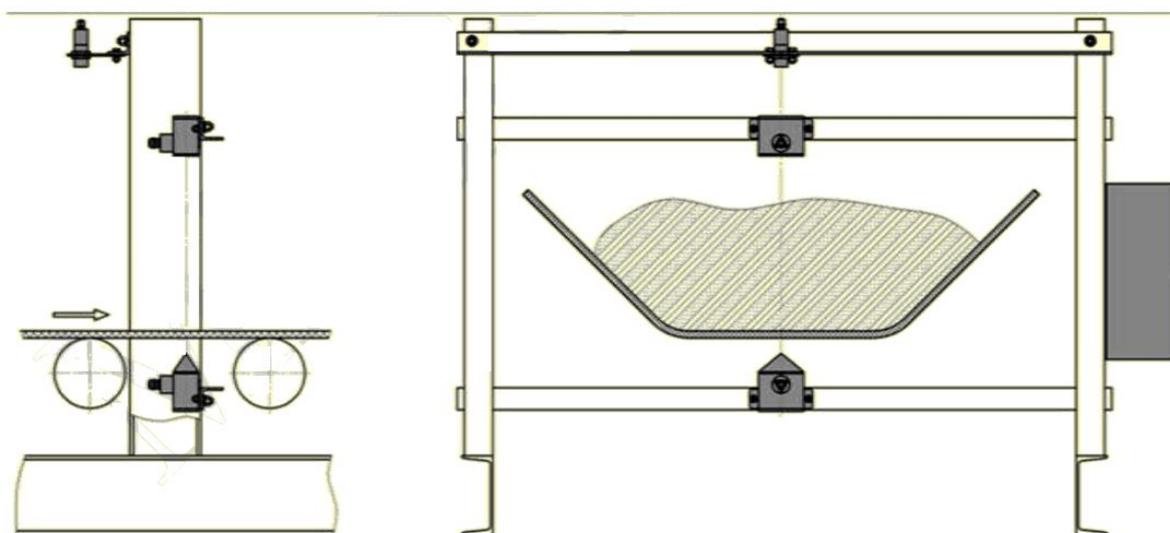


Рис. 7 – Схема установки влагомера МИКРОРАДАР-112К13К на конвейере без пробоотборника

Для повышения точности измерения в концентрате применяется формирователь слоя измерительной среды (лыжа, на которой установлены измерительные датчики).

Схема установки влагомера МИКРОРАДАР-112К13К с формирователем слоя измерительной среды на конвейере показана на рисунке 8:

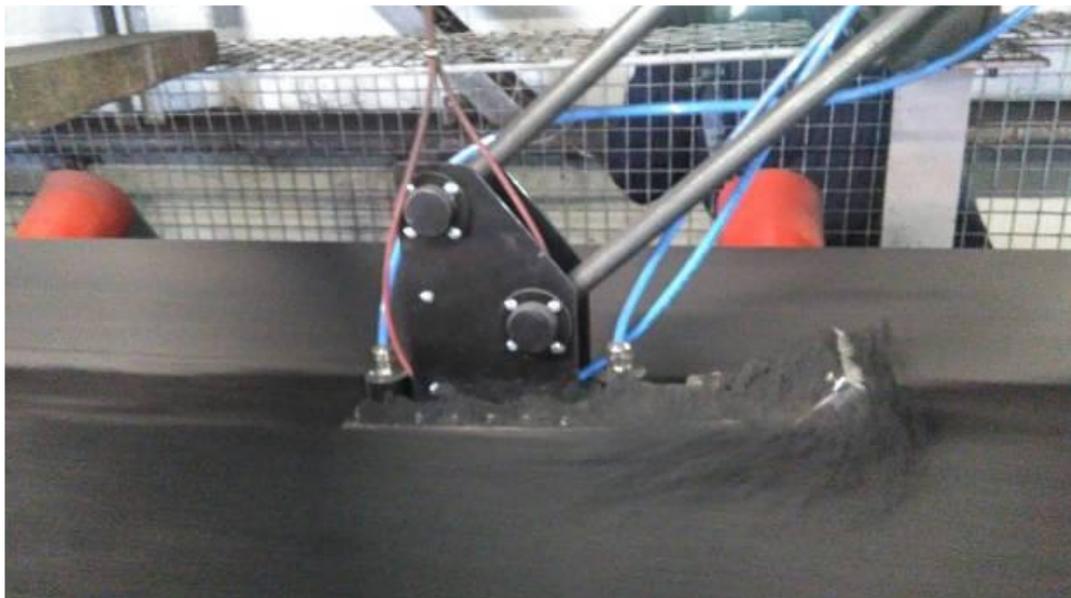


Рис. 8 – Схема установки влагомера МИКРОРАДАР-112К13К с формирователем слоя

Технические характеристики МИКРОРАДАР-MR112К13К приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики МИКРОРАДАР-MR112К13К

№	Характеристики	Значение
1	Принцип измерения	микроволновой
2	Диапазон измеряемой влажности, %	2 – 50
3	Основная относительная погрешность, %, не более	5
4	Возможность анализа магнетитовых руд	да
5	Толщина слоя исследуемого материала, мм	100 - 500
6	Температура контролируемого материала, °С	от +5 до +95
7	Режим работы	непрерывный
8	Напряжение питания, В/Гц	220 / 50
9	Потребляемая мощность, ВА, не более	50
10	Токовый выход, мА	0...5; 0...20; 4...20
11	Коммуникации	RS485, ModBus
12	Степень защиты блока электроники	IP 66
13	Возможность использовать, как конвейерные весы	нет
14	Стоимость оборудования (ориентировочно), руб	1 300 000
15	Страна производитель	Беларусь, г. Минск

2 Второй вариант предлагаемого технического решения - влагомер КА 500

"КОНВЕЛС Автоматизация"

Метод измерения влагомера КА 500 "КОНВЕЛС Автоматизация" - микроволновой (бесконтактный).

Микроволновой влагомер КА-500 производит точные измерения содержания влаги в сыпучих продуктах на конвейерной ленте, что позволяет обеспечивать оптимальную производительность в технологических процессах. Непрерывный анализ содержания влаги на конвейере в широком диапазоне материалов позволяет контролировать качество продукта, получая своевременную информацию для принятия решений, что позволяет эффективно использовать ресурсы и существенно снизить текущие затраты производства.

- устанавливается на конвейер любой ширины;
- скорость движения исследуемого материала по конвейеру не ограничена;
- толщина слоя исследуемого материала – до 500 мм;
- измеряемый диапазон содержания влаги 0 – 90%;
- высокая точность 0,3%;
- мгновенное получение результатов измерения.

Общий вид влагомера КА 500 "КОНВЕЛС Автоматизация" приведен на рисунке 9.



Рис. 9 – Общий вид влагомера КА 500 "КОНВЕЛС Автоматизация"

Схема установки влагомера КА 500 "КОНВЕЛС Автоматизация" на конвейере приведена на рисунке 10.

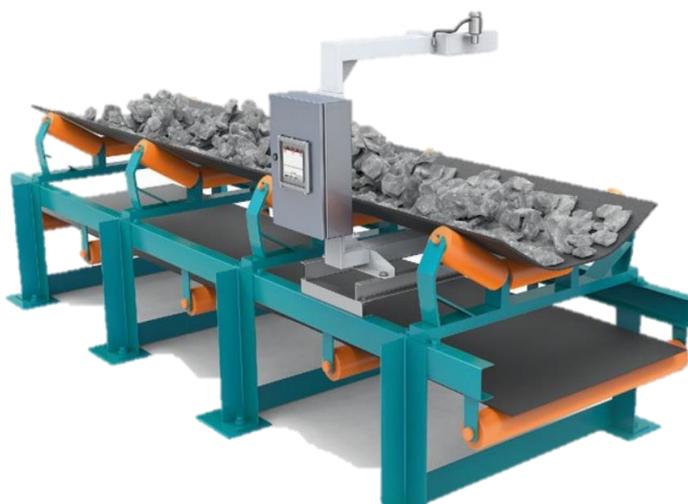


Рис. 10 – Схема установки влагомера КА 500 "КОНВЕЛС Автоматизация" на конвейере

Особенности влагомера КА 500:

- установка на С - образной раме;
- простота крепления;
- цветной дисплей;
- **Важно** то, что данный прибор **бесконтактный**.

Ультразвуковой датчик высоты насыпи позволяет определять высоту насыпи для более точного определения влажности материала.

Технические характеристики влагомера КА 500 "КОНВЕЛС Автоматизация" приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики влагомера КА 500 "КОНВЕЛС Автоматизация"

№	Характеристики	Значение
1	Принцип измерения	микроволновой
2	Диапазон измеряемой влажности, %	0 - 90
3	Основная относительная погрешность, %, не более	0,3
4	Возможность анализа магнетитовых руд	да
5	Толщина слоя исследуемого материала, мм	0 - 500
6	Температура контролируемого материала, °С	от 0 до +50 (исполнение для низких температур)
7	Режим работы	непрерывный
8	Напряжение питания, В/Гц	220 / 50
9	Потребляемая мощность, ВА, не более	
10	Токовый выход, мА	4...20
11	Коммуникации	RS232, RS485 TCP/IP (Ethernet), ModBus,

		Profibus DP, CANopen, DeviceNet.
12	Степень защиты блока электроники	IP 66
13	Возможность использовать, как конвейерные весы	да
14	Стоимость оборудования (ориентировочно), руб	1 900 000
15	Страна производитель	Россия, г. Москва

Общий вид ультразвукового датчика высоты насыпи влагомера КА 500 приведен на рисунке 11.



Рис. 11 – Общий вид ультразвукового датчика высоты насыпи влагомера КА 500

Преимущества влагомера КА 500:

- бесконтактное поточное измерение влажности по всей толщине насыпи на конвейере;
- автоматическая компенсация по высоте слоя насыпи на конвейере;
- модульная конструкция;
- подтвержденная работа на железных концентратах и магнетите;
- надежная конструкция и отсутствие движущихся частей;
- высокая заявленная точность.

3 Сравнительный анализ предлагаемых технических решений, выбор технических средств контроля

В таблице 5 представлен сравнительный анализ предлагаемых технических решений:

- влагомера МИКРОРАДАР ООО «МИКРОРАДАР-СЕРВИС», и
- влагомера КА 500 "КОНВЕЛС Автоматизация".

Табл. 5 – Сравнительный анализ предлагаемых технических решений

№	Характеристики	Наименование оборудования	
		Влагомер MR112K13K ООО «МИКРОРАДАР-СЕРВИС»	Микроволновой влагомер КА 500 Компания "КОНВЕЛС Автоматизация"
1	Принцип измерения	микроволновой	микроволновой
2	Диапазон измеряемой влажности, %	2 – 50	0 - 90
3	Основная относительная погрешность, %, не более	5	0,3
4	Возможность анализа магнетитовых руд	да	да
5	Толщина слоя исследуемого материала, мм	100 - 500	0 - 500
6	Температура контролируемого материала, °С	от +5 до +95	от 0 до +50 (исполнение для низких температур)
7	Режим работы	непрерывный	непрерывный
8	Напряжение питания, В/Гц	220 / 50	220 / 50
9	Потребляемая мощность, ВА, не более	50	
10	Токовый выход, мА	0...5; 0...20; 4...20	4...20
11	Коммуникации	RS485, ModBus	RS232, RS485 TCP/IP (Ethernet), ModBus, Profibus DP, CANopen, DeviceNet.
12	Степень защиты блока электроники	IP 66	IP 66
13	Возможность использовать, как конвейерные весы	нет	да
14	Стоимость оборудования (ориентировочно), руб	1 300 000	1 900 000
15	Страна производитель	Беларусь, г. Минск	Россия, г. Москва

Выбираем, микроволновой влагомер КА 500 "КОНВЕЛС Автоматизация", т.к.:

- бесконтактный принцип работы;
- имеет более высокую точность измерения;
- имеет возможность использовать, как конвейерные весы;
- универсальность, широкий спектр информационных каналов связи.

4 Интеграция выбранного технического решения контроля в АСУТП фабрики окомкования (ФОК)

Разработана схема комплекса технических средств для подключения предлагаемых влагомеров (КА 500 "КОНВЕЛС Автоматизация") к АСУТП ФОК, приведена на рисунке 12.

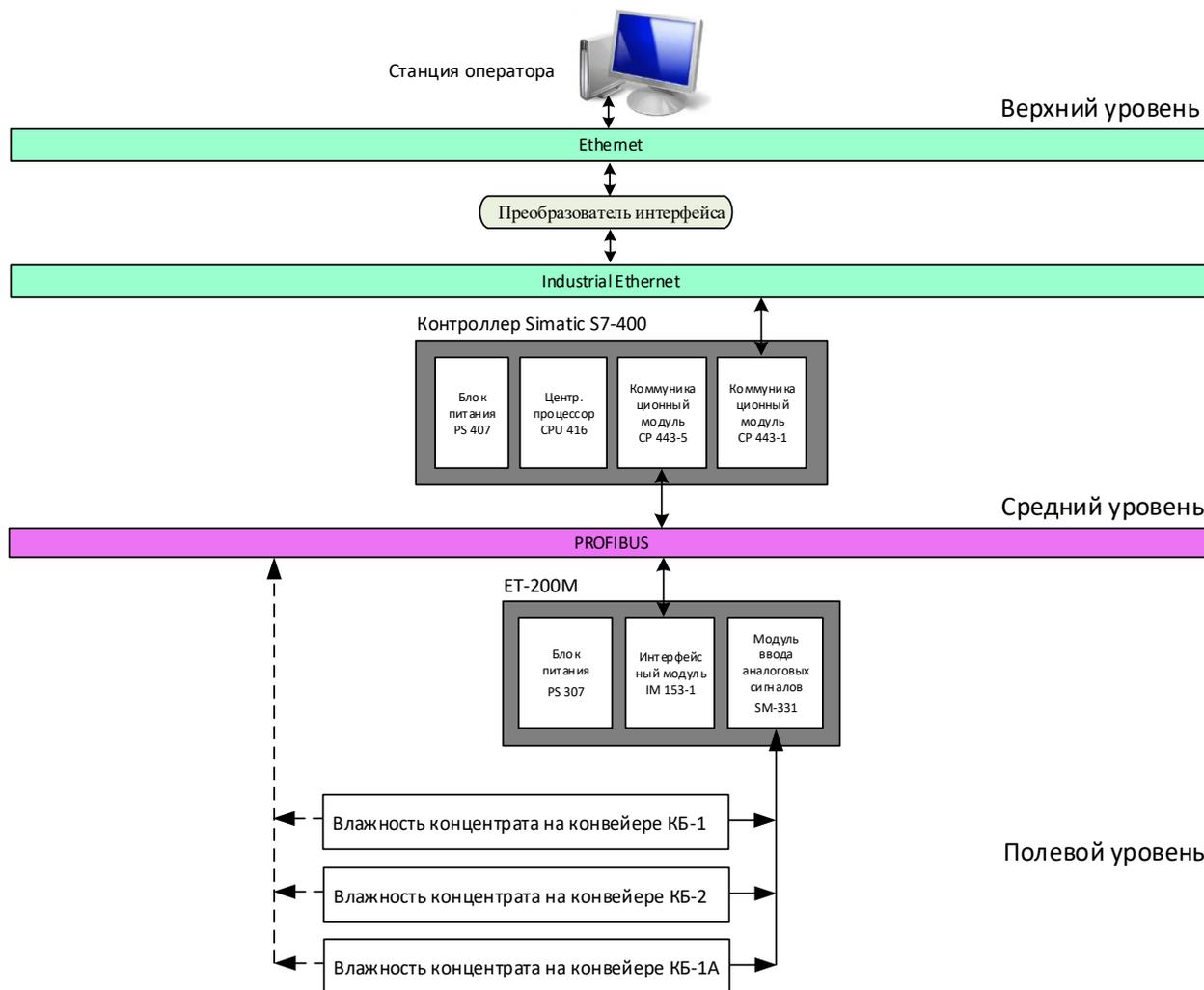


Рис. 12 – Схема комплекса технических средств для подключения предлагаемых влагомеров (КА 500 "КОНВЕЛС Автоматизация") к АСУТП ФОК

Для надежности, предлагается обеспечить 2 независимых канала связи для каждого влагомера:

- токовые выходы 4-20мА (прямое проводное подключение);
- интерфейс Profibus_DP (передача данных по сети).

5 Расчет экономических показателей внедрения выбранного технического решения

Этапы внедрения:

- Техническое задание.
- Технический проект.

- Закупка оборудования систем контроля влаги в потоке, СМР, наладка оборудования и ПО, промышленные испытания.

Исходные данные для ориентировочного расчета эффекта, пусть:

Таблица 6 – Единовременные затраты, в год внедрения систем

№	Наименование затрат	Количество, шт	Цена, руб	Сумма, руб
1	Оборудование систем контроля влаги в потоке (3 точки контроля)	3	1900000	5700000
2	Техническое задание, технический проект (3 точки контроля)	3	100000	300000
3	Строительно-монтажные работы (СМР), наладка оборудования и программного обеспечения (ПО), промышленные испытания (3 точки контроля)	3	200000	600000
	Итого:			6600000

Дополнительно:

Затраты в год на обслуживание – 5% от стоимости оборудования (в течении остальных 7 лет) = **330 000 руб.**

Экономия в год (обеспечение технологического персонала информацией о влажности исходного концентрата и своевременного принятия мер для снижения выпуска бракованной продукции - окатышей с отклонением от регламентных гранулометрических характеристик) = **10 000 000 руб.**

Нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат ($\alpha=0,2$).

Расчет экономических показателей внедрения систем:

Эффективность внедрения системы определяется следующими показателями:

а) чистый дисконтированный доход (ЧДД)

б) индекс доходности (ИД);

в) срок окупаемости.

Чистый дисконтированный доход – превышение интегральных результатов над интегральными затратами. Определяется как сумма текущих эффектов за весь расчетный период, приведенная к начальному шагу. Расчет ЧДД инвестиционного проекта показывает, является ли он эффективным при некоторой заданной норме дисконта α .

Срок окупаемости — минимальный временной интервал (от начала осуществления проекта), за пределами которого интегральный эффект становится и в дальнейшем остается неотрицательным, т.е. это период (измеряемый в месяцах, кварталах или годах), начиная с которого первоначальные вложения и другие затраты, связанные с инвестиционным проектом, покрываются суммарными результатами его осуществления.

Результаты расчета экономических показателей внедрения приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Расчет экономических показателей внедрения

Показатель и Периоды	Доход, руб.	Расход, руб.	$1/(1+\alpha)^t$	Дисконтированный доход, руб.
1	10 000 000	6600000	0,83333	8 333 300,00
2	10 000 000	330 000,00	0,69444	6 944 400,00
3	10 000 000	330 000,00	0,5787	5 787 000,00
4	10 000 000	330 000,00	0,48225	4 822 500,00
5	10 000 000	330 000,00	0,40188	4 018 800,00
6	10 000 000	330 000,00	0,33	3 300 000,00
7	10 000 000	330 000,00	0,28	2 800 000,00
8	10 000 000	330 000,00	0,23	2 300 000,00
Итого	80 000 000	8910000		
Показатель и Периоды	Дисконтированный расход, руб.	Годовой экономический эффект, руб.	ЧДД с нарастающим итогом, руб.	ИД
1	5499978	2 833 322,00	2 833 322,00	5,9
2	229165,2	6 715 234,80	9 548 556,80	5,9
3	190971	5 596 029,00	15 144 585,80	5,9
4	159142,5	4 663 357,50	19 807 943,30	5,9
5	132620,4	3 886 179,60	23 694 122,90	5,9
6	108900	3 191 100,00	26 885 222,90	5,9
7	92400	2 707 600,00	29 592 822,90	5,9
8	75900	2 224 100,00	31 816 922,90	5,9

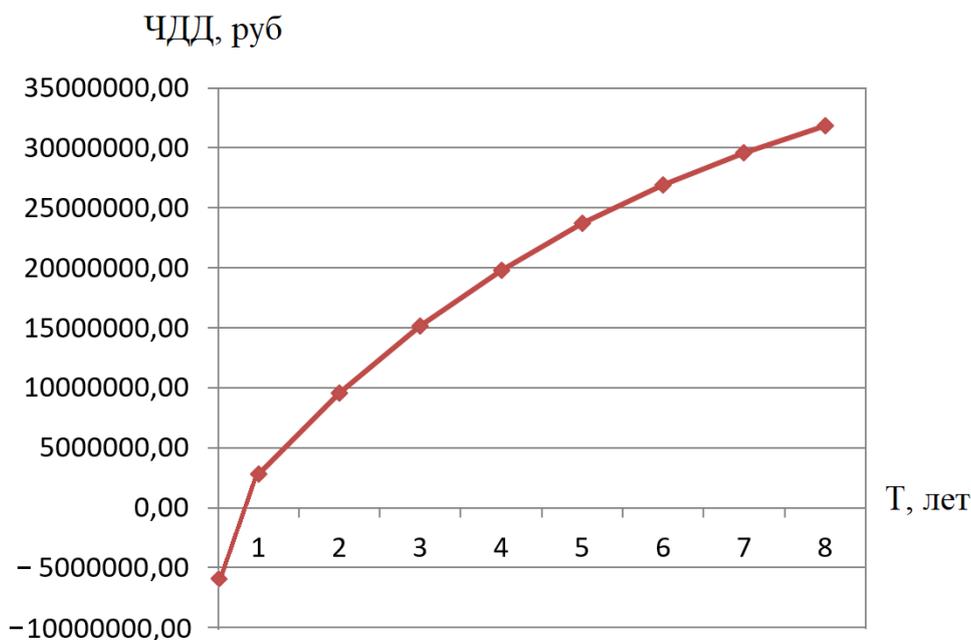


Рис. 13 – График изменения ЧДД во времени

Срок окупаемости проекта: **8 месяцев**

Полученные результаты окупаемости говорят о целесообразности и необходимости внедрения данной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе произведена разработка автоматизированной системы контроля массовой доли влаги концентрата на конвейерах подачи железорудного концентрата ФОК:

- произведен анализ существующей технологии и АСУТП ФОК;
- произведен обоснованный выбор технических средств автоматизированной системы контроля влаги концентрата на конвейерах готового продукта (влажмеры КА 500 "КОНВЕЛС Автоматизация");
- произведена разработка схемы комплекса технических средств автоматизированной системы контроля массовой доли влаги концентрата на конвейерах подачи железорудного концентрата;
- произведен расчет затрат на внедрение и расчет срока окупаемости автоматизированной системы контроля массовой доли влаги концентрата на конвейерах подачи железорудного концентрата фабрики окомкования.

Срок окупаемости проекта: 8 месяцев.

Полученные результаты окупаемости говорят о целесообразности и необходимости внедрения данной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Регламент технологического производственного процесса производство окатышей железорудных РТПП 00186803-06-2021, 2021 – 117 с.
2. Руководство по эксплуатации - влагомер поточный «МИКРОРАДАР-112» РЭ112.000-03, 2022 – 17 с.
3. Влагомер поточный «МИКРОРАДАР-112» ООО "Микрорадар-Сервис": официальный сайт. – Минск, 2024. - URL: <https://microradar.com/> (дата обращения 10.05.2024).
4. Общая брошюра по измерению влажности сыпучих материалов в технологическом процессе "КОНВЕЛС Автоматизация", 2024 – 20 с.
5. Конвейерный влагомер сыпучих материалов КА 500 "КОНВЕЛС Автоматизация": официальный сайт. – Москва, 2024. - URL: konvels.ru. (дата обращения 10.05.2024).

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОГРАФИКИ НА ЗАНЯТИЯХ ПО ИНФОРМАТИКЕ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА

Тарасенко Г.М.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), Россия, г. Губкин, ул. Комсомольская, 16

Аннотация. В данной статье рассматривается опыт использования инфографики при изучении информатики студентами первого курса обучения ГФ НИТУ «МИСИС». Автор анализируются виды инфографики и программные средства для их создания, предлагаются темы, наиболее подходящие для их визуального представления.

Ключевые слова: инфографика; информация; информатика; визуализация; мультимедиа-объекты; программные средства.

THE USE OF INFOGRAPHICS IN COMPUTER SCIENCE CLASSES AS A WAY TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF PRESENTATION OF THE MATERIAL

Tarasenko G.M.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. This article discusses the experience of using infographics in the study of computer science by first-year students of the GF NUST MISIS. The author analyzes the types of infographics and software tools for their creation, suggests topics that are most suitable for their visual presentation.

Keywords: infographics; information; computer science; visualization; multimedia objects; software tools.

Для современного мира характерно возрастание информационной активности, увеличение ритма жизни. Каждый человек постоянно сталкивается с большими объемами новой информации, которую требуется удерживать в памяти. Это связано с увеличением потоков информации, темпа и условий ее потребления. Умение эффективно представлять и использовать информацию стало не только важным фактором жизни общества, но и средством повышения эффективности образовательной деятельности, в том числе и в

высшей школе. Одним из важнейших условий успешного и точного понимания информации выступает доступность и простота представляемого учебного материала, адекватные информационно-программные средства и формы представления. Современные молодые люди склонны к восприятию упрощенной обработки визуальной информации, предпочтению изображений или мультимедиа-объектов чтению текстовой информации.

Для молодого специалиста в условиях тотальной цифровизации одной из основных компетенций выступает критическое мышление в цифровой среде – способность проводить оценку информации, ее достоверность, делать логические выводы на основании полученных данных [1]. Одним из таких инструментов обучения является образовательная инфографика, как эффективный графический способ подачи учебной информации. Возникает необходимость формирования и развития таких навыков у обучающихся как систематизация и анализ, обобщение и интерпретация информации, умение выделять главное, устранять избыточное. Использование таблиц, схем, рисунков способствует быстрому запоминанию и анализу изучаемого материала при решении поставленных учебных задач и самостоятельной познавательной деятельности студента.

Одной из форм представления информации на учебном занятии является инфографика. Данный способ визуализации учебного материала на занятиях по информатике может значительно повысить эффективность обучения и восприятия информации обучающимися.

Основная и традиционная формулировка термина «Инфографика» предстает следующим образом «это графический способ подачи информации, данных и знаний, целью которого является быстро и четко преподнести сложную информацию» [2].

Инфографика – это способ легко говорить о сложном. Простота понимания информации, визуализация данных, умение заставить пользователя думать и анализировать, вирусный эффект при использовании в Интернете, что ведет к повышению посещаемости сайта и росту контента, удобство распространения, создание истории, выбор интересных фактов, учет целевой аудитории – это далеко не полный перечень преимуществ инфографики.

Образовательная инфографика представляет собой законченный информационный блок, который можно изучить самостоятельно, проанализировать и сделать определенные выводы [3].

К образовательной инфографике относятся:

- динамическая инфографика;
- статистическая инфографика;
- информационная инфографика;

- конструкционная инфографика;
- лента времени;
- процесс;
- сравнительная инфографика и др.

Каждый вид образовательной инфографики идеально подходит для представления нового информационного модуля, выстраивания логических цепочек, сравнений изучаемых объектов, событий и явлений с целью критического анализа и выводов.

Качественная инфографика – это отличный способ подачи сложного объемного материала в максимально понятной форме [4, 7]. Несмотря на то, что презентации с использованием диаграмм, схем, таблиц как форма представления части доклада – явление не новое, следует обратить внимание, что инфографика – это современная форма визуального изложения всего доклада (темы исследования) целиком, а не его части. Причем форма подачи может быть, как единой, когда вся информация собрана в одном блоке и взаимосвязана между собой, так и отдельной, когда информация делится на блоки, несвязанные между собой.

Ключевыми аспектами применения инфографики на практических и лекционных занятиях по информатике выступают:

1. простота восприятия;
2. интерактивность;
3. визуализация данных;
4. развитие критического мышления;
5. мотивация к обучению.

Материал становится в разы привлекательней для пользователя, если его традиционное представление преобразуется в емкий доступный формат. Как показывают исследования, 90% информации человек воспринимает через зрение, из текстового описания человек усваивает лишь 70% информации, а при добавлении картинок результат увеличивается до 95% [5].

Например, при изучении темы «Алгоритмические структуры», целесообразно использовать блок-схемы для объяснения последовательности действий. Осваивая «Системы счисления», – в табличной форме осуществлять сравнительную характеристику представления различных систем счисления (двоичных, восьмеричных, шестнадцатеричных, десятичных и др.). Рассмотрение темы «История развития вычислительной техники» сопровождается временной шкалой с ключевыми событиями и достижениями в области информатики. А, изучая «Основы программирования», учебный материал преподносится как

демонстрация работы циклов, условий и других базовых конструкций изучаемого языка программирования.

Применение в образовательном процессе элементов инфографики вносит разнообразие, повышает мотивацию и внимание, определяет темп и динамику занятий. Наглядное пособие, подготовленное с помощью инструментов создания инфографики способствует повышению качества усвоенного материала.

Визуализация материала обучения осуществляется следующими способами:

1. Подготовка образовательной инфографики осуществляется преподавателем дисциплины (в частности, Информатика), обучающимся предлагаются задания, направленные на анализ информации, сопоставление приведенных фактов, формулировку выводов, обобщений и постановку вопросов к представленной информации.

2. Обучающиеся под руководством преподавателя создают презентационный материал на основе имеющихся данных, выбрав вид инфографики и соблюдая правила и этапы создания.

Освоить мастерство создания инфографики можно следующими способами:

– использование онлайн-сервиса по созданию инфографики на основе готовых шаблонов;

– создание инфографики средствами графических редакторов.

Наиболее популярными онлайн-сервисами для создания инфографики можно назвать Google Docs подойдет для статистических данных; Easel.ly – для построения ярких и наглядных схем; creately.com создает диаграммы за два клика; Visualize.me – средство создания инфографики с примерами чужих работ; Infogr.am дополнит изображения видео и аудиоматериалами; Canva – универсальное средство с богатым выбором готовых шаблонов и набором бесплатных инструментов и ряд других.

Создание же инфографики без использования готовых шаблонов, т.е. с нуля, предполагает более детальную проработку ее проекта: структуры, размещения всех элементов, использования указателей, стрелок, картинок и т.д. В качестве программного средства можно использовать любой графический редактор, например, Adobe PhotoShop, Adobe Illustrator и другие.

Средства инфографики нашли широкое применение в различных сферах: науке, производстве, журналистике, социологии, статистике, бизнесе, рекламе и т.д. Поскольку развитие общества и образование являются неотделимыми понятиями, визуализация информации нашла широкое применение в учебном процессе. Одна инфографика в среднем заменяет 3-6 слайдов презентации [6, 7]. Применение такого рода технологий в образовательном процессе высшей школы позволяет расширить возможности

самостоятельной деятельности студента, формирует навык исследовательской и проектной работы, то есть способствует повышению качества подготовки будущего специалиста.

Процесс создания инфографики включает в себя ряд базовых этапов. На первом этапе необходимо определить тему с учетом ее актуальности и востребованности и выявить цели инфографики. Следующий этап предполагает поиск и сбор данных для инфографики и их систематизацию. Этот этап считается наиболее важным и сложным, так как именно на этом этапе определяется базис содержания и основные логические цепочки, а также подбираются основные источники получения информации. Далее осуществляется выбор необходимого вида инфографики, который позволит представить информацию наиболее качественно и эффективно, и далее, можно переходить к этапу эскизирования и создания макета.

Таким образом, созданием и использованием в образовательном процессе учебной инфографики обеспечивается интенсификация обучения, формируется и развивается критическое и визуальное мышление, повышается цифровая грамотность, визуальная и информационная культура обучающегося.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Тарасенко, Г. М. Подготовка специалистов горнодобывающей отрасли в условиях цифровизации инженерной деятельности / Г. М. Тарасенко, Е. А. Чуева // Технический оппонент. – 2023. – № 1(9). – С. 10-15. – EDN FTCIZW.
2. Габова М.В. Инфографика как средство визуальной коммуникации современного общества. // Научный форум: Филология, искусствоведение и культурология: сб. ст. по материалам VII междунар. науч.-практ. конф. — № 5(6). — М., Изд. «МЦНО», 2017. — С. 17-21.
3. Ахатова Р.Ю. Возможности применения инфографики в процессе обучения / Р.Ю. Ахатова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 11 (115). — С. 133-135. — URL: <https://moluch.ru/archive/115/30184/>.
4. Гуничева Е.М, Голубев О.Б. Дидактические возможности образовательной инфографики //Педагогическая информатика. – 2018. — №1 – с.15-21.
5. Кийкова Е.В., Соболевская Е.Ю., Кийкова Д.А. Анализ эффективности применения инфографики в учебном процессе вуза // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – №6
6. Тарасенко, Г. М. Образовательная инфографика как эффективное средство формирования информационной культуры / Г. М. Тарасенко // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство : материалы двадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Старый

Оскол, 21 декабря 2023 года. – Старый Оскол: Национальный исследовательский технологический университет "МИСИС", 2024. – С. 560-563. – EDN PPDJTG.

7. Гуничева Е. М., Голубев О.Б. Дидактические возможности образовательной инфографики //Педагогическая информатика. – 2018. — №1 – с.15-21.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЩЕБНЯ НА ДСФ АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК»

Терехин Е.П., Шляхов А.М., Парфенов Д.С.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»), teryekhin@mail.ru, тел: 89103697533

***Аннотация.** Установка ПДСУ-200М на ДСФ АО «Лебединский ГОК» выпускает щебеночно-песчаную смесь фракции 0-80 мм в основном для собственных нужд. Часть продукции реализуется потребителям, которые перерабатывают ее в более востребованные фракции. В статье рассматривается возможность модернизации технологической линии путем добавления двух стадий грохочения, что позволит снизить нагрузку на конусную дробилку, повысить в целом производительность установки ПДСУ-200М и получить 4 вида более рентабельной щебеночной продукции. Годовой экономический эффект от модернизации составит более 230 млн. руб.*

Ключевые слова: производство щебня; фракции; дробление; грохочение; дробильно-сортировочная установка.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE CRUSHED STONE PRODUCTION UNIT AT LEBEDINSKY GOK'S DSF

Teryekhin E., Shlyakhov A., Parfenov D.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** The PDSU-200M unit at Lebedinsky GOK produces crushed stone-sand mixture of 0-80 mm fraction mainly for the Company's own needs. Part of the production is sold to consumers, who process it into more demanded fractions. The article considers the possibility of modernization of the technological line by adding two stages of screening, which will reduce the load on the cone crusher, increase the overall productivity of the installation PDSU-200M and get 4 types of more profitable crushed stone products. The annual economic effect from modernization will amount to more than 230 million rubles.*

Keywords: crushed stone production; fractions; crushing; screening; crushing and screening plant.

Введение

Комплексная переработка нерудного сырья является актуальной проблемой горнопромышленного сектора. На ДСФ АО «Лебединский ГОК» щебеночную продукцию получают на передвижной дробильно-сортировочной установке ПДСУ-200М из сопутствующих скальных пород.

Линия ПДСУ-200М [1] работает малоэффективно, т.к. выпускает всего один вид продукции – щебень фракции 0-80 мм. Кроме собственного потребления щебень фракции 0-80 линии ПДСУ-200М реализуется потребителям, которые перерабатывают его в более маржинальную продукцию. Повышение эффективности работы линии ПДСУ можно достичь, увеличив номенклатуру выпускаемого щебня путем разделения его на более прибыльные фракции.

Целью прикладного исследования является модернизация установки ПДСУ-200М для повышения ее эффективности.

Задачи предполагают:

- анализ эксплуатации ПДСУ-200М;
- предложения по модернизации ПДСУ-200М с разработкой новых технологических схем получения щебня;
- подбор дополнительного сортировочного и транспортного оборудования;
- расчет качественно-количественной схемы и производительности оборудования;
- определение экономической эффективности предлагаемого решения.

Анализ существующей технологии

ПДСУ – это установленный на открытой производственной площадке комплекс оборудования, включающий в себя склад исходного нерудного сырья, машины крупного и среднего дробления, неподвижный колосниковой грохот, внутрицеховой ленточный транспорт, погрузочные машины, склад готовой продукции, а также вспомогательные сооружения (рис. 1).



Рис. 1 – Передвижная дробильно-сортировочная установка

Технологическая схема получения щебня 0-80 мм из кристаллического сланца на установке ПДСУ-200М производительностью 150 т/ч представлена на рисунке 2.

Производство щебня фракции 0-80 мм на этой установке представляет собой двухстадийное дробление материала (крупное и среднее) с первичной сортировкой.

Выход по фракциям составляет: щебень фракции 100-200 мм (бутовый камень) ~ 6% и смесь щебеночно-песчаная фракции 0-80 мм ~ 94%.

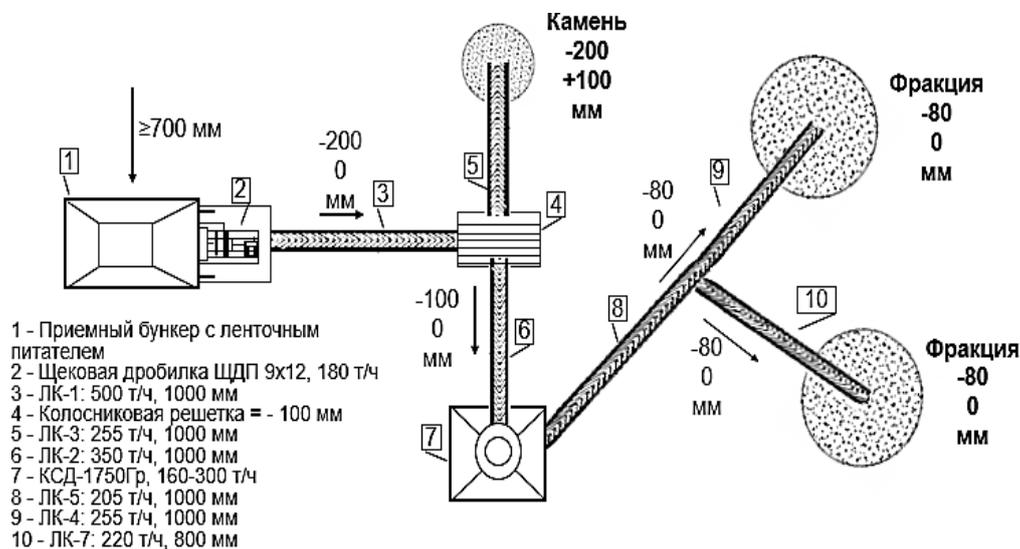


Рис. 2 – Технологическая схема ПДСУ-200М

На установке ПДСУ-200М весь подколосниковый материал крупностью до 100 мм направляется конвейером на конусную дробилку, что ограничивает производительность технологической линии в целом, а отсутствие оборудования для грохочения после стадии среднего дробления не дает возможности получения более маржинальных фракций щебня.

Предлагаемое техническое решение

Для повышения производительности линии и получения мелких фракций щебня предлагается произвести модернизацию существующей технологии с оптимизацией первой стадии грохочения для снижения нагрузки на узел среднего дробления и включением в производственную линию оборудования для вторичной классификации (рис. 3).

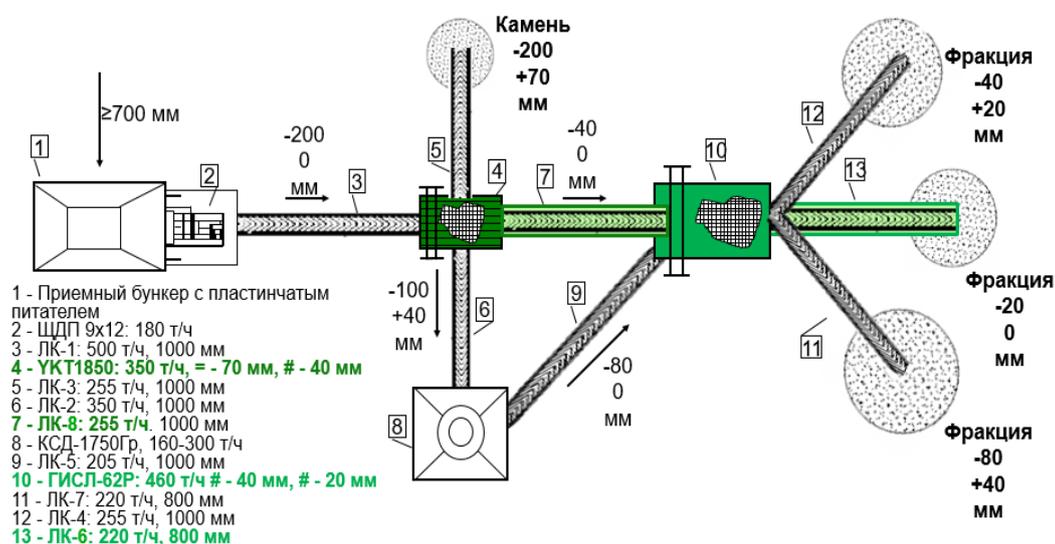
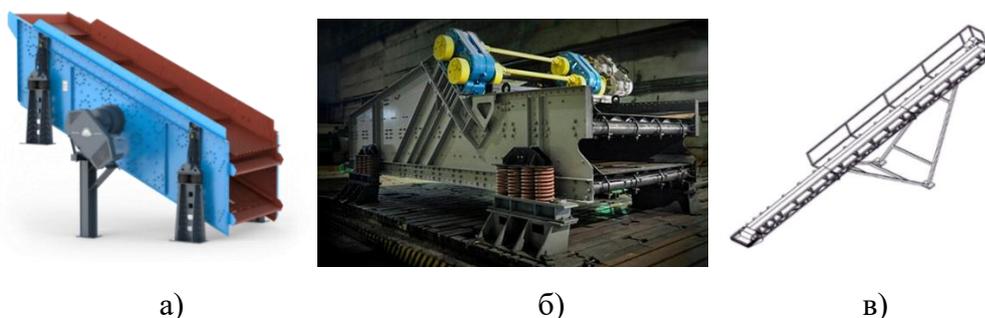


Рис. 3 – Технологическая схема модернизированной ПДСУ

Модернизация линии ПДСУ заключается в замене неподвижного колосникового грохота на высокопроизводительный двухдековый виброгрохот УКТ (рис. 4,а) на первой стадии грохочения и организацией второй стадии грохочения с оснащением современным оборудованием ГИСЛ-62Р (рис. 4,б). Окончательная компоновка потребует установку дополнительных двух конвейерных трактов (рис. 4,в). Такое решение позволит разгрузить конусную дробилку КСД-1750Гр и повысить производительность производственной линии в целом.



а) двухдековый виброгрохот УКТ; б) грохот инерционный самобалансный ГИСЛ-62Р;
в) конвейер ленточный КЛДМ

Рис. 4 – Предлагаемое дополнительное оборудование для модернизации ПДСУ

Расчет количественно-качественной схемы (рис. 5) показал, что на выходе технологической линии после модернизации получится три фракции щебня 40-80 мм, 20-40 мм, 0-20 мм [2]. Производительность ПДСУ-200М увеличится со 150 до 170 т/ч.

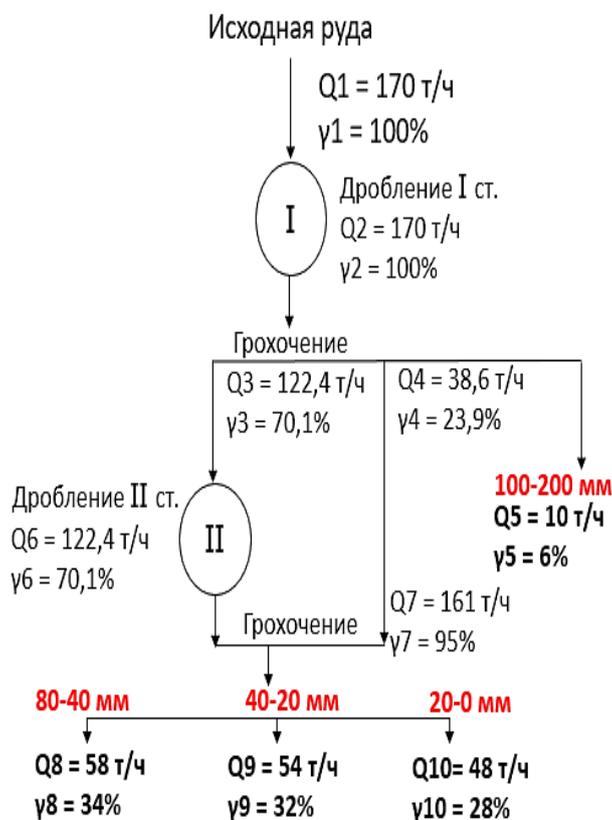


Рис. 5 – Качественно-количественная схема модернизированной ПДСУ-200М

Предложенная технологическая схема сможет повысить маржинальность продукции из нерудных материалов и привлечь новых покупателей щебеночной продукции, а в целом повысить рентабельность производства.

Экономическая эффективность предлагаемого решения

Общие годовые затраты на производство щебня составят 230400 до и 261120 тыс.руб. после модернизации ПДСУ-200М и включают в себя затраты на сырье, фонд оплаты труда, ремонт, электроэнергию, охрану труда и закупку нового оборудования.

Показатели экономической эффективности сведены в таблицу 1. Для определения годового экономического эффекта необходимо сравнить годовую чистую прибыль от производства щебня, выпускаемого передвижной дробильной установкой до и после модернизации [3]. Ориентировочный расчетный экономический эффект от модернизации технологической линии превысит 230 млн. руб./год.

Таблица 1 – Расчетные показатели экономической эффективности проекта

Параметры	Существующее положение	Новый вариант
Производительность, т/год:	921600	1044480
- $Q_{100-200}$		
- Q_{0-80}	55296	62668,8
- Q_{40-80}	866304	-
- Q_{20-40}	-	355123,2
- Q_{0-20}	-	334233,6
		292454,4
Стоимость фракций, руб./т:		
- $Q_{100-200}$	800	800
- Q_{0-80}	700	-
- Q_{40-80}	-	900
- Q_{20-40}	-	1400
- Q_{0-20}	-	600
Поступления от реализации, тыс.руб./год	650650	1013146
Общие затраты:	390535	459278
- Затраты на сырье, тыс.руб./год	230400	261120
- ФОТ и взносы, тыс.руб./год	21948	24312
- ТО и ремонт, тыс.руб./год	44000	46700
- Амортизационные расходы, тыс.руб./год	1320	1401
- Расходы на электроэнергию, тыс.руб./год	8477	10383
- Общецеховые расходы, тыс.руб./год	80000	84000
- Охрана труда, тыс.руб./год	4390	4862
- Новое оборудование, тыс.руб./год	-	26500
Прибыль, тыс.руб./год	208092	443094
Ожидаемый эффект, тыс.руб./год		235002

Заключение

– анализ эксплуатации ПДСУ-200М выявил, что повысить производительность линии невозможно из-за перегруженности дробилки КСД, а улучшить рентабельность из-за выпуска только одной низкодоходной фракции 0-80 мм;

– предложенная новая технологическая схема с классификацией щебня после первой и второй стадий дробления устраняет выявленные выше недостатки;

– расчет параметров модернизированной установки показал, что на выходе новой технологической линии получится три фракции щебня 40-80мм, 20-40мм, 0-20мм с увеличением производительности ПДСУ-200М со 150 до 170 т/ч, что предполагает получение экономического эффекта в размере более 230 млн.руб./год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Оборудование дробильно-сортировочных заводов и установок [Электронный ресурс] – 2018. – Режим доступа: <https://extxe.com/4720/oborudovanie-drobitlno-sortirovochnyh-zavodov-i-ustanovok/> (23.09.2024)
2. Перов В.А., Андреев Е.Е., Биленко В.Ф. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: Учеб. пособие для вузов. - 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 2007. - 301 с.

3. Головченко М.В. Анализ передвижных дробильно-сортировочных установок, применяемых на карьерах нерудных строительных материалов [Электронный ресурс] – 2010. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-peredvizhnyh-drobilno-sortiro-vochnyh-ustanovok-primenyaemyh-na-karierah-nerudnyh-stroitelnyh-materialov/viewer/> (23.09.2024)

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕЛЬНИЦЫ MRГ 40Х75
НА ОФ АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК»**

Терехин Е.П., Генералов В.В., Плешков В.А.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС») Россия, г. Губкин, teryekhin@mail.ru, тел: 89103697533

***Аннотация.** Прикладные исследования посвящены модернизации конструкции разгрузочного элеватора рудногалечных мельниц MRГ 40x75 на обогатительной фабрике АО «Лебединский ГОК». Износ торцевой разгрузочной решетки увеличивает циклическую нагрузку и снижает производительность мельницы по готовому продукту. Для устранения этого недостатка предлагается усилить разгрузочную решетку радиальными и окружными ребрами жесткости в местах наибольшего износа и заменить резиновую футеровку на полиуретановую. Статический расчёт жёсткости в программе «Компас 3Д v.18» и карты напряжений для моделей традиционной и модернизированной решеток подтверждают предположения о повышении прочности и износостойкости конструкции, а экономические расчеты определяют экономическую эффективность в размере 25 млн. руб./год.*

Ключевые слова: рудногалечная мельница; износ; разгрузочная решетка; футеровка.

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE MRG 40X75 MILL
AT LEBEDINSKY GOK J.S.C.**

Teryekhin E.P., Generalov V.V., Pleshkov V.A.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** Applied research is devoted to modernization of the design of the discharge elevator of ore-pebble mills MRG 40x75 at the concentrator of JSC Lebedinsky GOK. The wear of the end discharge grate increases the cyclic load and reduces the productivity of the mill on the finished product. To eliminate this disadvantage it is proposed to strengthen the discharge grate with radial and circumferential stiffening ribs in the places of the greatest wear and to replace the rubber lining with polyurethane one. Static stiffness calculation in the program*

“Compass 3D v.18” and stress maps for the models of traditional and modernized grids confirm the assumptions about increasing the strength and wear resistance of the structure, and economic calculations determine the economic efficiency in the amount of 25 million rubles/year.

Keywords: ore pebble mill; wear; discharge grate; liner.

Введение

Одной из причин нестабильной работы рудногалечных мельниц МРГ 40x75 на обогатительной фабрике АО «Лебединский ГОК» является износ торцевой разгрузочной решетки, увеличивающий циклическую нагрузку и снижающий ее производительность по готовому продукту (рис. 1,2). Целостность разгрузочной решетки непосредственно влияет на общее качество выпускаемой предприятием продукции, поэтому актуальность модернизации конструкции разгрузочного элеватора мельницы, как объекта исследования в данной работе, не вызывает сомнения [1]. Так как контролировать целостность разгрузочных решеток в период эксплуатации оборудования не представляется возможным, необходимо повысить их ресурс за счет модернизации конструкции и замены материала футеровки секторов.

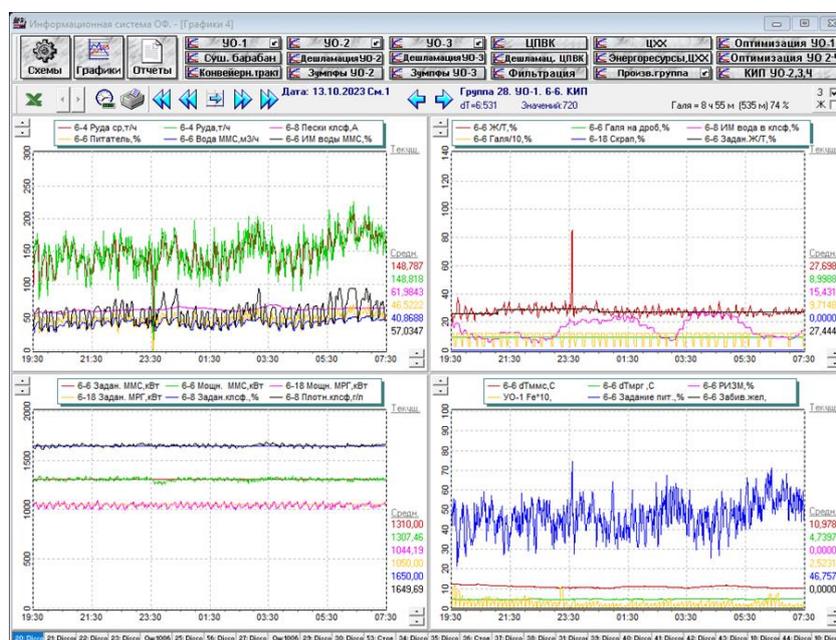


Рис. 1 – График нормальной работы мельницы

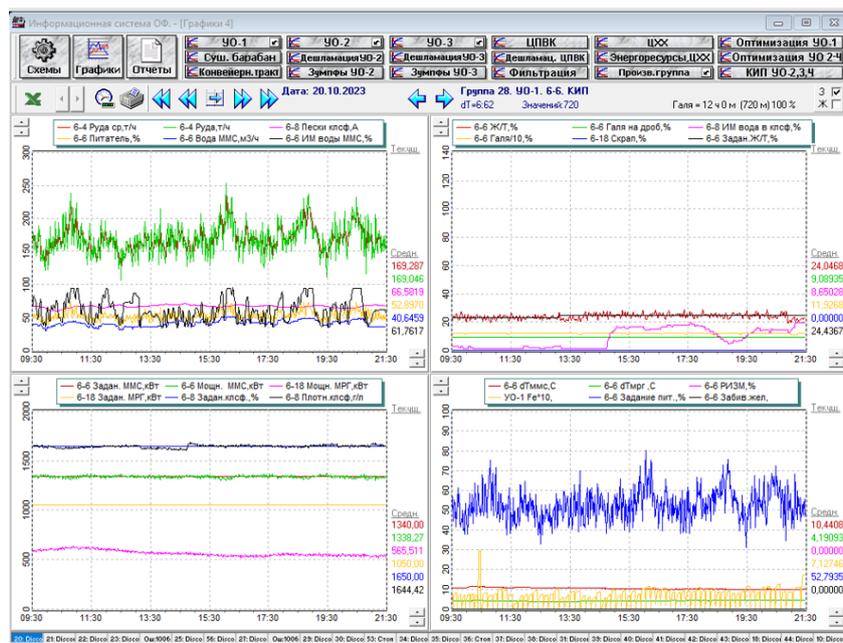


Рис. 2 – График работы мельницы с изношенной решеткой

Замена разгрузочного элеватора происходит с периодичностью 8 месяцев во время капитального ремонта мельницы, а критический износ секторов разгрузочной решетки мельниц наступает на 2 месяца раньше положенного срока эксплуатации (рис. 3).



Рис. 3 – Разгрузочная решетка мельницы за 2 месяца до капитального ремонта.

Целью данной работы является стабилизация технологических и режимных параметров мельницы в период эксплуатации между капитальными ремонтами за счет изменения конструкции разгрузочной решетки в части повышения износостойкости и прочности.

Решаемые задачи:

- провести анализ влияния конструкции разгрузочной решетки на технологические показатели мельницы МРГ 40x75;
- выявить недостатки в существующей конструкции разгрузочной решетки;

- рассмотреть технические решения для повышения прочности и износостойкости;
- усовершенствовать конструкцию решетки и оценить ее долговечность;
- определить экономический эффект от предлагаемого технического решения.

Методы

Основными методами исследований приняты теоретическое определение давления материала внутри барабана на торцевую решетку мельницы, статический расчёт жёсткости в программе «Компас 3Д v.18» и карт напряжений, а также метод технико-экономического сравнения вариантов. По этим методикам обосновывались преимущество модернизированной конструкции решетки перед традиционной и экономическая эффективность использования предлагаемого технического решения.

Поиск технического решения

Резинометаллические разгрузочные элеваторы мельниц изготавливаются цельнолитыми из резины с жестким металлическим каркасом. Для разгрузки материала перед элеваторами устанавливается разгрузочная решетка, состоящая из 10 секций (рис. 4). Разгрузочная решетка барабанной мельницы состоит из секторов, прикрепленных болтовым соединением по внешнему радиусу секторов к разгрузочной крышке, а по внутреннему радиусу - к диафрагме разгрузочной части. Корпус каждого сектора разгрузочной решетки представляет собой металлическую пластину с расположенными на ней разгрузочными щелями, выполненными в виде прямоугольных сквозных отверстий.

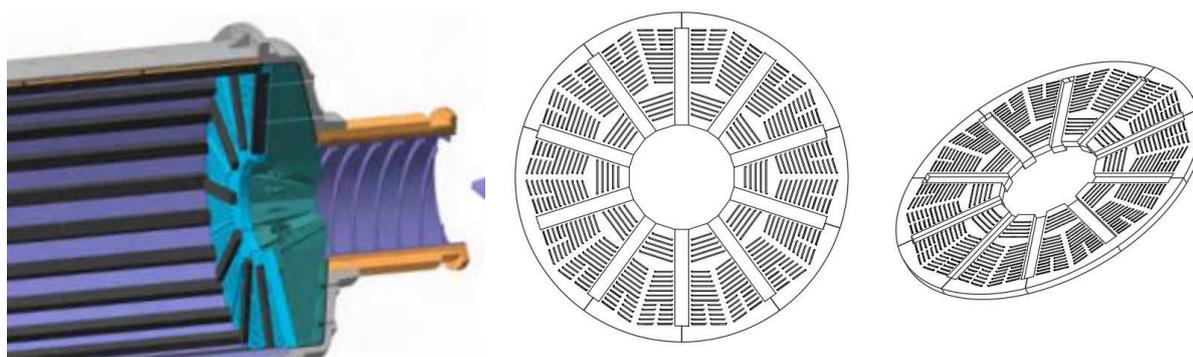


Рис. 4 – Общий вид элеватора мельницы и 10 секций разгрузочных решеток в сборе

Для защиты от износа сектора покрыты резиновой футеровкой, от состояния которой зависит долговечность элементов решетки. Между секторами установлены торцовые лифтеры, придающие конструкции дополнительную жесткость. Выход из строя решетки начинается с износа защитной футеровки (рис. 5), после чего происходит интенсивный износ ребра средней части секции до потери жесткости с последующим разрушением фильтрующей части [2].

Поставленную цель по стабилизации технологических и режимных параметров мельницы в период эксплуатации между капитальными ремонтами предлагается решить за счет изменения конструкции разгрузочной решетки [3], а именно добавлением десяти дополнительных радиальных ребер жесткости в местах наибольшего износа и дополнительным усилением среднего пояса решеток (рис. 6).



Рис. 5 – Износ футеровки разгрузочной решетки мельницы МРГ

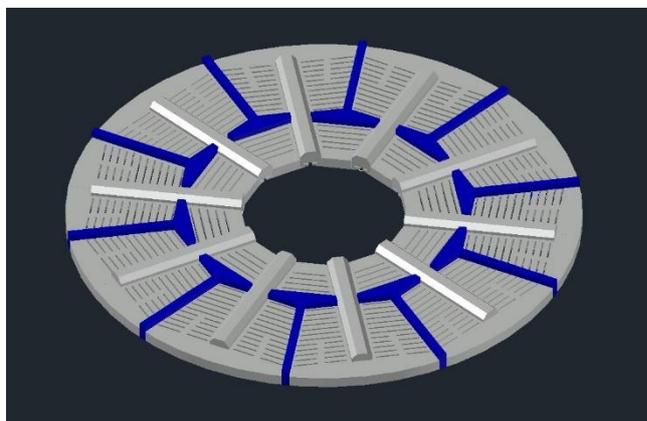


Рис. 6 – Разгрузочная решетка с дополнительными ребрами жесткости

Результаты

Для оценки принятого технического решения необходимо произвести статический расчёт жёсткости и по картам напряжений оценить их релаксацию в нагруженных местах новой конструкции. Определенная трудность заключалась в расчете суммарного давления материала внутри барабана на решетку, который свелся в данном случае к получению значения суммарной силы давления на смоченную поверхность торцевой стенки и точки ее приложения. Так как режим давления на торцевую стенку не является статическим, учет нагрузки за счет поступательного движения массы с незначительной скоростью вдоль оси мельницы и наличия скоростного напора, а также ударного давления при вращательном движении массы корректировался применением коэффициента динамичности.

После определения нагрузок был произведен статический расчёт жёсткости в программе «Компас 3Д v.18» и составлены карты напряжений для моделей традиционной и модернизированной решеток с учетом заполнения барабана на 48-50%.

При добавлении дополнительных ребер жёсткости (синие на рис. 6) прогиб решетки уменьшается на 10% и даже при потере 50% толщины решетки за счет износа условия жесткости выполняются, то есть прогиб изношенной решетки не превышает допустимого значения, что снижает вероятность потери прочности в течение межремонтного цикла.

При сравнении карт напряжений (рис. 7) наблюдается более равномерное их распределение в новом техническом решении решетки, что позитивно скажется на повышении прочности и износостойкости конструкции. С другой стороны для повышения износостойкости предложена замена резиновой футеровки решетки на полиуретановую, характеристики которой предполагают увеличение срока службы минимум на 20%.

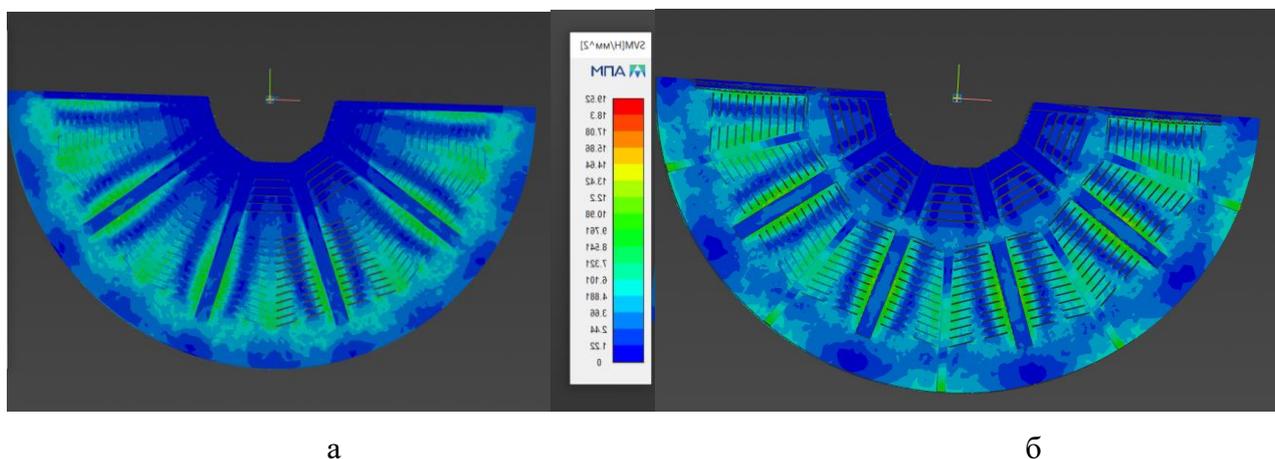


Рис. 7 – Карты напряжений для моделей традиционной (а) и модернизированной (б) решеток с учетом заполнения барабана на 48-50% и опирания секторов на элеваторы

Получение экономического эффекта основано на том, что при изменении конструкции разгрузочной решетки мельницы износ значительно уменьшится, что позволит обеспечить корректную работу оборудования и предотвратить уменьшение производительности в течение двух последних месяцев до капитального ремонта. Расчеты экономических результатов модернизации представлены в табл.1.

Таблица 1 – Экономические результаты модернизации

Показатель	До модернизации	После модернизации
Коэффициент запаса прочности решетки	16,316	17,8
Материал футеровки	Резина	Полиуретан
Капитальные затраты на одну решетку	350 000 руб.	490 000 руб.
Кол-во концентрата в месяц в последние 2 мес. цикла	40 788 т/мес	54 320,4 т/мес.
Прибыль от реализации концентрата	3500 руб./т.	3500 руб./т.

Кол-во доп. выпущенного концентрата	-	40 597,2 т/год
Прибыль от реализованного концентрата после модернизации		25 576 026 руб./год

Заключение

В результате анализа факторов абразивного износа разгрузочных решеток мельниц МРГ предложена новая конструкция секции, усиленная радиальным и окружным ребрами жесткости с заменой резиновой футеровки на полиуретановую.

Статический расчёт жёсткости в программе «Компас 3Д v.18» и карты напряжений для моделей традиционной и модернизированной решеток подтвердили предположения о повышении прочности и износостойкости конструкции.

Экономические расчеты показывают, что после модернизации разгрузочной решетки количество выпускаемого концентрата увеличится на 40 597,2 т/год, а экономическая эффективность проекта составит 25 576 036 руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Андреев Е.Е. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению: Учебник / Е.Е. Андреев, О.Н. Тихонов. СПГГИ (ТУ). СПб, 2007. – 439 с.
2. Ястребов К.Л. Развитие теории, технологии и совершенствование конструкции оборудования рудного самоизмельчения и гравитационного обогащения полезных ископаемых: дисс. ... докт. техн. наук. Иркутск, 2001. – 396 с.
3. Монастырский В.И. и др. Оптимизация параметров разгрузочных решеток мельниц мокрого самоизмельчения для дезинтеграции кимберлитов // М.: «ГИАБ», 2008 № 6 С. 325–327.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСА ДАВЛЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ МОДУЛЬНОГО ВЗРЫВОРЕАКТИВНОГО КОМПЛЕКСА

Шведов И.М.^{1,2}, Соловьев В.О.²

¹Университет науки и технологий МИСИС, Россия, Москва, svirell@mail.ru

²Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Россия, Москва, solovievvo@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты моделирования развития импульса давления в образуемой скважине при работе переносного взрывореактивного комплекса (ПВРК), предназначенного для проведения взрывных работ в сложных горно-геологических условиях. Исследованы процессы нарастания фронта импульсов давления, величины амплитуд и длительности возникающих импульсов в образующейся скважине для различных режимов работы комплекса.

Ключевые слова: взрывореактивное бурение; горные породы; импульс давления.

FEATURES OF PRESSURE PULSE FORMATION DURING OPERATION OF A MODULAR EXPLOSIVE-REACTIVE COMPLEX

Shvedov I.M.^{1,2}, Solov'ev V.O.²

¹National University of Science and Technology "MISIS", Mining Institute, Moscow, 119991, Russian, Moscow

²Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute, Russian Academy of Science (IMASH RAN), 101990, Russian, Moscow

Abstract. The results of modeling the development of a pressure pulse in a formed well during the operation of a portable explosive-reactive complex (PVRK) designed for blasting operations in difficult mining and geological conditions are presented. The processes of increasing the pressure pulse front, the magnitude of the amplitudes and duration of the pulses in the resulting well for various modes of operation of the complex are studied.

Keywords: explosive drilling; rocks; pressure pulse.

Комплекс представляет собой модульную переносную установку, осуществляющую детонацию блока кассет с взрывчатым веществом (ВВ), принцип действия которой и конструктивные особенности рассматриваются в работах [1].

В образующейся скважине при взрывных работах возникают сложные нестационарные газодинамические процессы, определяющие характер возникающего поля напряжения в массиве и эффективность его последующего разрушения [2].

Выполнено моделирование вариаций параметров взрывного импульса для переносного взрывореактивного комплекса ВРК-21, работающего на самозаглубляющемся принципе с модульным набором рабочих кассет, снаряженных ВВ, и регулируемой системой синхронно-перекрывающего срабатывания зарядов.

Рабочий орган (РО) ВРК-21 состоит из 3-х модулей по 7 кассет в каждом, высотой 800 мм с наружным диаметром 160 мм и внутренним диаметром 58 мм.

Схематичное устройство кассеты показано на рисунке 1 и представляет собой одноразовый стальной усеченный конус с центральным отверстием и кольцевыми проточками с наружной и внутренней стороны, разделенными между собой стенкой. В кольцевые проточки с двух сторон стенки установлены кольцевые прижимной и забойный заряды ВВ, в которые вмонтированы прижимные цилиндрические отражатели, оснащенные соответственно кумулятивными прижимными и забойными зарядами ВВ. При инициировании кольцевого прижимного заряда ВВ с наружной стороны кассеты, детонация на её внутреннюю сторону передается через сквозные каналы в разделяющей стенке, оснащенные зарядами ВВ. Инициирование зарядов ВВ в каналах происходит с замедлением, обеспечивающим перекрытие во времени срабатывания забойных зарядов по сравнению с прижимными, что обеспечивает прижатие кассеты к забою.

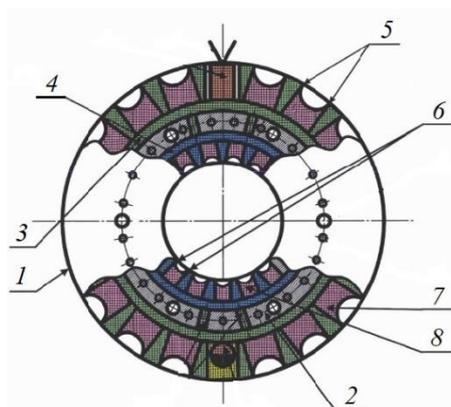


Рис. 1 – Общая схема устройства кассеты:

1- стальной усеченный конус; 2- разделительная стенка; 3- кольцевой прижимной заряд ВВ; 4- кольцевой забойный заряд ВВ; 5 – прижимной цилиндрический отражатель; 6- забойный цилиндрический отражатель; 7- кумулятивный прижимной заряд ВВ; 8- кумулятивный забойный заряд ВВ.

Оценка влияние работы РО комплекса на параметры взрывного импульса была выполнена на основе анализа изменения давления в образующейся скважине [3-4]. Учитывая особенности инициирования взрыва, обозначим через изменение координаты z_t закон движения продуктов детонации одной кассеты в образующейся скважине. В общем виде закон изменения газодинамического состояния – нарастание скорости ударной волны и величины давления, был представлен как:

$$P = P_{max} F(z_t), \quad (1)$$

где $F(z_t)$ – функция, учитывающая конструкцию заряда ВВ и динамику развития взрыва (определяется высотой работающего заряда).

Для выявления общих закономерностей развития процесса силы сопротивления на данном этапе не учитывались. С учетом усреднения параметров движения продуктов детонации по длине скважины, для исследования процесса было составлено дифференциальное уравнение:

$$P = \frac{N \cdot m}{3} \cdot \frac{d^2 z}{dt^2}, \quad (2)$$

где N – количество взрываемых кассет в рассматриваемом цикле, штуки; m – масса ВВ заряда, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения образующейся скважины, кг/м², t – длительность импульса, с.

Функция $F(z_t)$ в уравнении (1) для детонации N кассет была представлена в виде:

$$F(z_t) = \left(\frac{h}{h + z_t} \right)^3, \quad (3)$$

где h – высота одной кассеты, м.

После подставления формулы (3) в (2) и выполненного интегрирования получено уравнение для оценки влияния массы заряда, количества взрываемых кассет на параметры взрывного импульса:

$$P = P_{max} \left(\frac{\frac{1}{3} \cdot N \cdot m \cdot h}{P_{max} t^2 + \frac{1}{3} \cdot N \cdot m \cdot h} \right)^{3/2} \quad (4)$$

Исходя из условия, что время разрушения одной кассеты составляет 1 мс, были выполнены модельные расчеты нарастания импульса давления при инициировании одной кассеты, одного модуля (состоит из 7 кассет), двух модулей и при полной отработке ВРК-21.

При подставлении в формулу (4) значений для параметров заряда ВВ в кассете были рассчитаны величины изменения импульсов давления в рабочем канале от их длительности, а также прослежена динамика развития импульса давления при последовательной работе ВКР-

21 (от детонации одной кассеты до полного комплекса). Результаты расчетов представлены на рисунке 2.

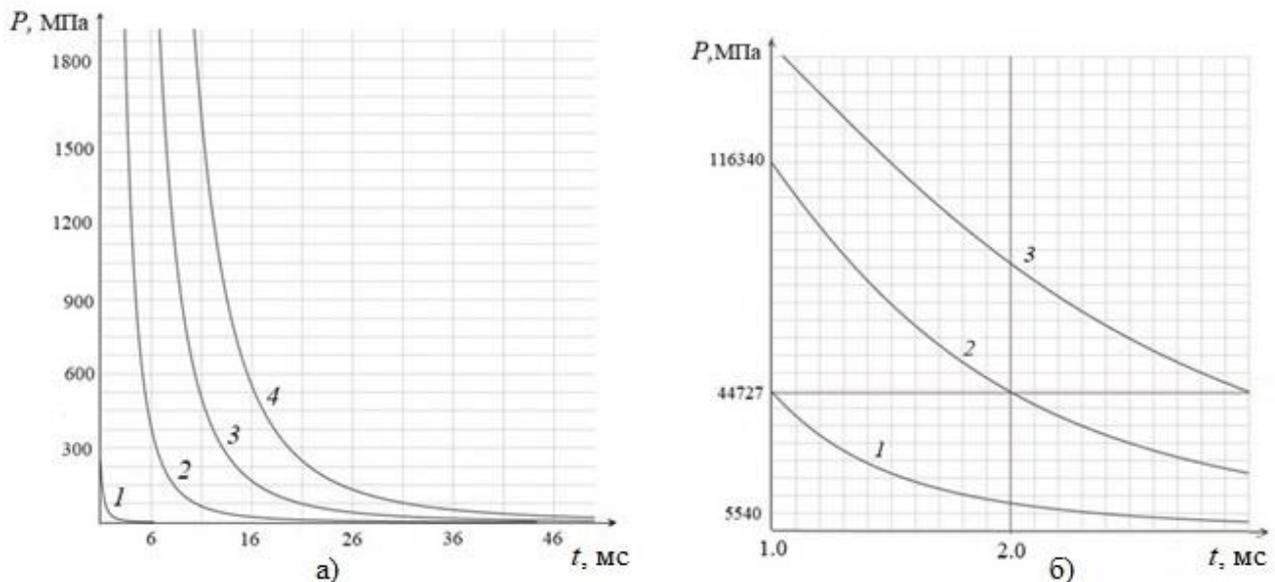


Рис. 2 – Динамика развития импульса давления в скважине:

а) изменение величины импульса давления и его длительности в скважине при работе ВРК: 1 – детонация одной кассеты; 2 – детонация 7 кассет; 3 – детонация 14 кассет; 4 – детонация 21 кассеты; б) изменение величины импульса давления в скважине при работе: 1 – одного, 2 – двух, 3 – трех модулей в диапазоне длительности импульса 3 мс.

Анализ полученных модельных графиков зависимостей нарастания импульса давления и длительности фронта давления был выполнен для условия создания максимально по частоте цуга волн напряжений в массиве. В исследуемой модели коэффициент крепости горных пород принимался в диапазоне $f = 5-7$ по шкале проф. М.М. Протождяконова. Эффективность возникающих критических сжимающих напряжений для формирования зоны дробления (за пороговое значение критического напряжения было принято $\sigma_{сж} = 250$ МПа) за счет интерференции волн напряжений оценивалось по длительности поддержания суммарного импульса. Установлено, что наибольшая эффективность от работы ВРК для принятых условий наблюдается при работе двух модулей. Длительность суммарного импульса давления возрастает при этом в 2,16 раза по сравнению с работой одного модуля и в 1,6 раза от включения в работу третьего модуля.

Проанализирован процесс нарастания фронта импульсов давления от работы модулей. Графики, приведенные на рисунке 1б, соответствуют огибающим фронта импульсов давления при поочередной работе модулей – одного (детонация 7 кассет), двух (детонация 14

кассет) и полной работе комплекса (детонация 21 кассеты) при длительности процесса в скважине 3 мс.

Выполненный анализ показал, что наибольший спад величины давления происходит в течение 2 мс от инициирования взрыва модуля (или последовательности взрывания модулей). Такое сравнение было обусловлено еще тем, что длительность одиночного импульса от взрыва одной кассеты составляет 2 мс. Сравнение относительного спада величины давления в импульсе для длительности импульса 2 мс показало, что относительное падение давления при работе двух модулей по сравнению с работой одного составляет 8 раз, а при сравнении работы трех модулей и двух наблюдается падение давления в 3 раза.

Полученные результаты моделирования позволяют обосновать эффективные режимные параметры взрывореактивного бурения с применением установки ВРК-21 в зависимости от физико-механических свойств пород и конкретных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Solov'ev V.O., Shvedov I.M. Portable complex for controlled explosive reactive drilling of rocks. *International Journal of Engineering and Technology*. (2018). Vol.7, No. 2.23, pp. 140. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.23.11901>.
2. Solov'ev V.O., Shvedov I.M. Investigation of the gas-dynamic processes in the operation of an explosive-reactive complex// *J. Phys.: Conf. Ser.* 2020, 1451(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1451/1/012018>.
3. Гончаров С.А., Дугарцыренов А.В. Формирование импульса давления при взрыве скважинных зарядов на карьерах. *Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ)*, 2000. № 12 с. 31–36.
4. Дугарцыренов А.В., Рахманов Р.А., Заровняев Б.Н., Шубин Г.В. Управление импульсом давления при взрыве скважинных зарядов на карьерах. *Взрывное дело*. Выпуск №117/76. -М.: ИПКОН РАН, 2018, с.62-77.

СЕКЦИЯ 3 «ГОРНОЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»

УДК 539.3/6

РАСЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ПОДКРЕПЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ВЫРЕЗА В СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ

Авдеев В.И., Владимиров А.А., Кудинов Е.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)

ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС»

309516, Российская Федерация, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42,

tomm_sti_misis@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 доб. 240

***Аннотация.** В статье рассмотрено решение задачи о выборе размеров стального кольца, подкрепляющего вырез в сферической оболочке, при которых напряженное состояние в оболочке с отверстием и без совпадает. Описан расчет напряжений и нагрузок, действующих на оболочку при рассматриваемом нагружении. Определены итоговые результаты расчета и перспективные направления для дальнейших исследований.*

Ключевые слова: сферическая оболочка; напряженное состояние; эквивалентное подкрепление; интенсивность.

CALCULATION OF EQUIVALENT REINFORCEMENT OF THE CENTRAL CUTOUT IN A SPHERICAL SHELL

Avdeev V.I., Vladimirov A.A., Kudinov E.A.

Stary Oskol Technological Institute. A.A. Ugarova (branch)

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education "National Research Technological

Institute "MISIS" 309516, Russia, Stary Oskol, microdistrict im. Makarenko, 42,

tomm_sti_misis@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 ext. 240

***Abstract.** The article considers the solution to the problem of choosing the dimensions of a steel ring that reinforces a cutout in a spherical shell, at which the stress state in the shell with and without a hole coincides. The calculation of stresses and loads acting on the shell under the considered loading is described. The final results of the calculation and promising directions for further research are determined.*

Keywords: spherical shell; stress state; equivalent reinforcement; intensity.

Введение

В последние годы во всех сферах промышленности наблюдается активная тенденция к полной или частичной модернизации как технологических процессов, так и оборудования. Эта модернизация направлена на повышение эффективности, снижение затрат и улучшение качества производимой продукции. В результате таких изменений возникают новые требования к конструкциям машин и агрегатов, которые должны соответствовать современным стандартам и требованиям безопасности.

Одной из наиболее сложных задач в процессе модернизации является изменение конструкции механизма без изменения его размеров и структуры. Это требует глубокого понимания принципов работы механизма, его динамики и характеристик материалов. Конструкторы и инженеры сталкиваются с необходимостью внедрения инновационных решений, которые позволят улучшить функциональность и надежность оборудования, не увеличивая при этом его габариты.

К примеру, в машиностроении часто применяются методы, такие как топологическая оптимизация, позволяющие перераспределить нагрузки и уменьшить вес конструкции без потери прочности. Также активно используются современные композитные материалы, которые обладают высокой прочностью и легкостью, что открывает новые горизонты для проектирования. Для таких методов модернизации конструкции необходимо осуществлять расчеты по проверке напряжений, деформаций при различных нагрузках.

Основная часть

Для примера рассмотрим сферическую оболочку (рисунок 1), напряженное состояние которой при заданной нагрузке такое, что дальнейшее увеличение напряжения недопустимо. В силу же технических или эксплуатационных требований необходимо выполнить центральный круговой вырез.

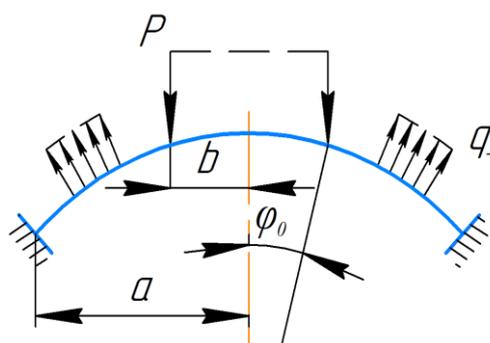


Рис. 1 – Сферическая оболочка

Решим задачу о подборе эквивалентного подкрепления выреза, которое по своей упругой работе заменит вынутую часть оболочки и при котором не нарушится напряженное состояние за пределами контура намечаемого выреза сплошной оболочки.

Пользуясь уравнениями для полой сферической оболочки, [1] представим необходимые величины на контуре предполагаемого выреза ($r=b$) в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} Q &= \frac{D}{l^2} [C_1 I_2(\beta) - C_2 I_1(\beta)], N_1 = \frac{R}{l\beta}, M_1 = \frac{D}{l} [C_1 I_{1r}(\beta) + C_2 I_{2r}(\beta)], \\ u &= -\frac{(1+\mu)R}{Eh} Q + C_5 \beta, \omega = l [C_1 I_{2\omega}(\beta) - C_2 I_{1\omega}(\beta)] - C_5 \frac{R}{l}, \\ \gamma &= C_1 I_1(\beta) + C_2 I_2(\beta), \Delta = u \cos \varphi_0 + \omega \sin \varphi_0 \end{aligned} \right\} (1)$$

где Q, N_1, M_1 – внутренние силовые факторы; $u, \omega, \gamma, \Delta$ – перемещения, C_i – постоянные, определяемые из граничных условий; $I_i, I_{ir}, I_{i\omega}$ – интегралы уравнения Бесселя;

$D = Eh^3/12(1-\mu^2)$ – жесткость оболочки при изгибе; h – толщина оболочки; μ, E – коэффициент Пуассона и модуль упругости материала оболочки;

$$\beta = b/l, l = \sqrt[4]{R^2 D/Eh}. [2]$$

Далее рассмотрим оболочку с кольцом (рисунки 2, 3, 4). Кольцо сопрягается с оболочкой по линии, расстояние до которой от плоскости симметрии кольца равно s . Величину s будем считать положительной, если плоскость симметрии кольца расположена выше линии сопряжения.

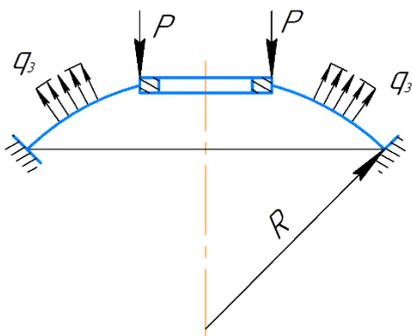


Рис. 2 – Оболочка с кольцом

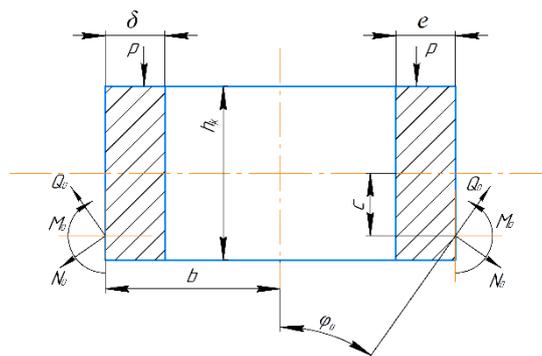


Рис. 3 – Подкрепляющее кольцо

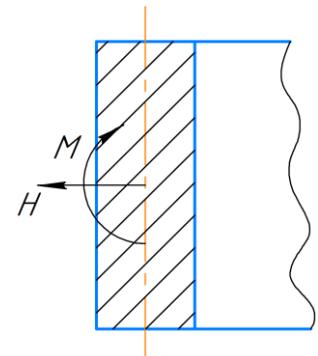


Рис. 4 – Распорное усилие и момент, действующие на кольцо

На кольцо действуют усилия N_0, Q_0, M_0 со стороны оболочки и распределенная по окружности радиуса $(b - \frac{\delta}{2} - e)$ нагрузка интенсивности p . Эти нагрузки приводятся к распору H и моменту M .

$$H = Q_0 \cdot \sin \varphi_0 + N_0 \cdot \cos \varphi_0, \quad (2)$$

$$M = M_0 + H \cdot c + p \cdot e + (Q_0 \cdot \cos \varphi_0 - N_0 \cdot \sin \varphi_0) \frac{\delta}{2} \quad (3)$$

Горизонтальные перемещения точек кольца в месте сопряжения с оболочкой u_k и угол поворота его наружной грани γ_k будут равны

$$u_k = \frac{H(b - \frac{\delta}{2})^2}{E_1 F}, \quad \gamma_k = \frac{M(b - \frac{\delta}{2})^2}{E_1 J}, \quad (4)$$

где $E_1 F$, $E_1 J$ – жесткости кольца на растяжение и на изгиб относительно оси, лежащей в его срединной плоскости.

Чтобы подкрепление было эквивалентным, необходимо потребовать выполнение следующих условий:

$$u_k = \Delta(\beta), \quad \gamma_k = \gamma(\beta) \quad (5)$$

И принять следующие равенства нагрузок в расчетной модели:

$$M_0 = M_1(\beta), \quad N_0 = N_1(\beta), \quad Q_0 = Q(\beta) \quad (6)$$

Раскрывая условия (5) и принимая для пологих оболочек $\cos \varphi_0 = 1$, $\sin \varphi_0 = b/R$, получим следующие формулы для определения относительных жесткостей эквивалентного кольца:

$$\left. \begin{aligned} \frac{E_1 J}{D b} &= \frac{(b - \frac{\delta}{2})^2 (C_1 I_{1r}(\beta) + C_2 I_{2r}(\beta) + \frac{C \beta}{R} (1 + \frac{R^2}{b^2}) [C_1 I_{1r}(\beta) + C_2 I_{2r}(\beta)] + \frac{p l e}{D})}{\beta l^2 [C_1 I_{1r}(\beta) + C_2 I_{2r}(\beta)]}, \\ \frac{E_1 E}{E h b} &= \frac{h^2 (b - \frac{\delta}{2})^2 (1 + \frac{R^2}{b^2}) [C_1 I_2(\beta) + C_2 I_1(\beta)]}{12(1 - \mu^2) \beta R l^2 (\frac{l^2 \beta}{R} [C_2 I_1(\beta) + C_1 I_2(\beta)] - [C_1 I_1(\beta) + C_2 I_2(\beta)])}, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где $I_i^*(\beta) = \frac{\mu}{\beta} I_i(\beta) - I_i'(\beta)$, $I_i' = \frac{d I_i}{d \xi}$, $\xi = r/l$, r – радиус параллельного круга.

Для существования решения задачи об эквивалентном подкреплении необходимо, чтобы правые части выражений (7) были положительными. Последнее не всегда имеет место. Кроме того, подкрепляющий элемент считается тонким кольцом, следовательно, должны удовлетворяться условия [3]

$$\frac{2\delta}{2b - \delta} \leq \frac{l}{5}, \quad h_k^4 \sqrt{\frac{3(1 - \mu^2)}{b^2 \delta^2}} \leq 0,8 \quad (8)$$

где μ_1 – коэффициент Пуассона для материала кольца.

В качестве примера выполним расчет эквивалентного подкрепления фонарного выреза в сферическом куполе с геометрическими параметрами и нагрузками, приведенными в стандарте. [4].

Исходными данными являются радиус купола $R = 24,25$ м, приведенная толщина $h = 0,043$ м, радиус фонарного отверстия $b = 1,8$ м, диаметр основания $2a = 36$ м, $\mu = 1/6$, нагрузка $q_3 = 5000$ Н/м² и нагрузка, передаваемая на край выреза, $p = 5000$ Н/м (рисунок 5).

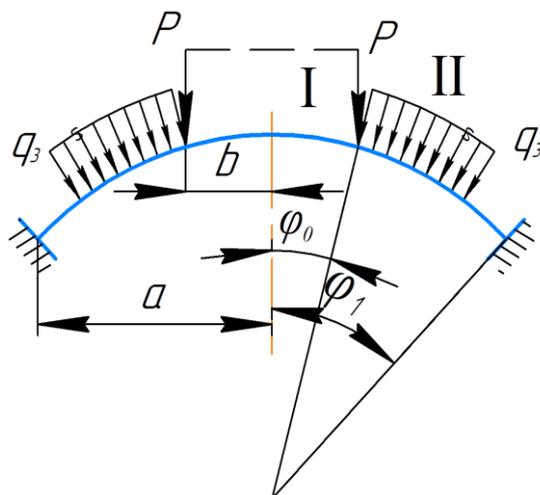


Рис. 5 – Сферический купол

Принимаем $c = 0,02$ м, $e = \delta/2$, модули упругости и коэффициенты Пуассона материалов кольца и оболочки считаем равными. Из формул (7) находим параметры кольца $h_k = 0,157$ м, $\delta = 0,179$ м.

Полученное подкрепление в 2,8 раза меньше по площади поперечного сечения по сравнению с заданным в начальных условиях, приведенных в руководстве по проектированию. [4]

Заключение

После внимательного анализа и проведения расчетов было установлено, что применяемая методика расчета полностью соответствует актуальным требованиям, предъявляемым к расчетам конструкций. Это особенно важно в контексте модернизации существующих объектов. Методика позволяет производить необходимые изменения и улучшения, не прибегая к модификации конструкций и их габаритов. Таким образом, она демонстрирует свою эффективность и надежность.

Современные стандарты требуют от инженеров точности и строгости в расчетах. При этом важно учитывать не только статические, но и динамические нагрузки, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации. Методика, используемая в данном случае, учитывает все эти аспекты, что позволяет минимизировать риски и повысить безопасность конструкций.

Кроме того, использование данной методики может значительно сократить время на проведение расчетов. Это особенно актуально для проектов с жесткими временными рамками. Быстрый и точный расчет позволяет оптимизировать проектирование и снизить

затраты. Инженеры могут сосредоточиться на других важных аспектах работы, таких как выбор материалов и технологии строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Пикуль В.В./ Механика оболочек/ Владивосток: Дальнаука. 2009. 535 с.
2. Avdeev V.I./ The analysis of some methods of the problem solution about stress-strain state of spherical shell / Science and Technology [Text]: materials of the II international research and practice conference, Vol. II, Wiesbaden, May 9th-10th, 2012 / publishing office <Bildungszentrum Rodnik e. V.>. с. Wiesbaden, Germany, 2012.169-173 pp.
3. Новожилов В.В./ Теория тонких оболочек/ Санкт-Петербург.:Издательство Санкт-Петербургского университета. 2010 г. 380 с.
4. Руководство по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий. 2021 г.

3D ПЕЧАТЬ ВНУТРЕННИХ РЕЗЬБ

Афонин А.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
afonin.an@misis.ru*

***Аннотация.** В статье рассмотрены возникающие при 3D печати резьб погрешности и предложены способы их устранения. Даны рекомендации по выбору технологии изготовления внутренних резьб разного размера.*

Ключевые слова: внутренняя резьба; 3D печать; аддитивные технологии; FDM.

3D PRINTING OF INTERNAL THREADS

Afonin A.N.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

***Abstract.** The article examines errors that occur during 3D printing of threads and suggests ways to eliminate them. Recommendations are given on choosing a technology for producing internal threads of different sizes.*

Keywords: internal thread; 3D printing; additive technologies; FDM.

Резьбовые соединения отличаются универсальностью, удобством применения и надежностью. В связи с этим, они широко применяются для изделий, получаемых с помощью аддитивных технологий. Однако, их 3D печать вызывает существенные технологические трудности [1, 2]. Резьбовые поверхности имеют достаточно сложную форму и при этом требуют обеспечения относительно высокой точности изготовления для их взаимного сопряжения. Это делает их формирование аддитивными способами непростой задачей. Рассмотрим способы ее решения на примере деталей, получаемых наиболее распространенной в настоящее время технологией FDM (экструзия расплавленного материала на поверхность). Как правило на получаемых 3D печатью деталях чаще всего формируются внутренние резьбы, так как в качестве сопрягаемых с ними деталей с наружной резьбой обычно используются стандартные крепежные изделия. В связи с этим рассмотрим особенности изготовления внутренних резьб.

Напечатанная по FDM технологии резьбовая поверхность будет иметь значительные погрешности, вызванные слоистостью детали, усадкой материала и т.д.

Значительное влияние на качество получаемой 3D печатью резьбы оказывает ориентация резьбового отверстия относительно стола принтера. Установлено [1], что удовлетворительного качества резьбы можно добиться только если ее ось будет перпендикулярна столу. В дальнейшем будем рассматривать только такой случай.

При расположении резьбового отверстия перпендикулярно столу слоистость детали вызывает погрешность вследствие того, что слои при печати будут иметь форму тора, не совпадающего с теоретическим геликоидом резьбовой поверхности (рис. 1, для наглядности показана наружная резьба). Программа-слайсер, задающая траекторию перемещения печатающей головки, будет позиционировать точки этого тора, имеющие наибольший диаметр, по теоретическому профилю резьбы. Величину погрешности, вызванной слоистостью детали, можно определить исходя из геометрических соображений. Для треугольной резьбы (рис. 2) она будет равна [2]:

$$a = h \frac{1 - \sin(\alpha / 2)}{2}, \quad (1)$$

где h – толщина слоя, мм

α - угол профиля резьбы.

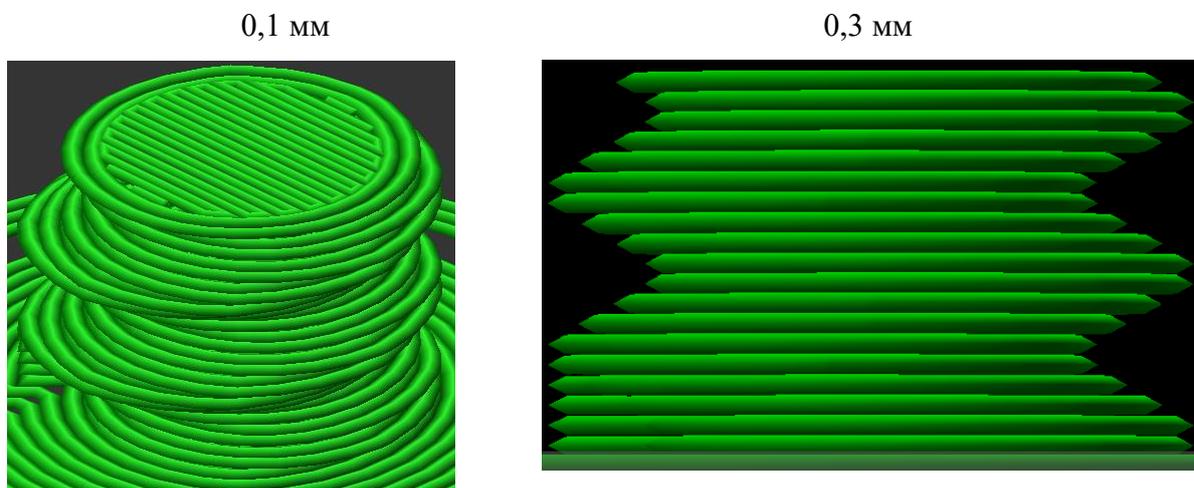


Рис. 1 – Слоистость детали при 3D печати резьбы шагом 2 мм с разной толщиной слоя.

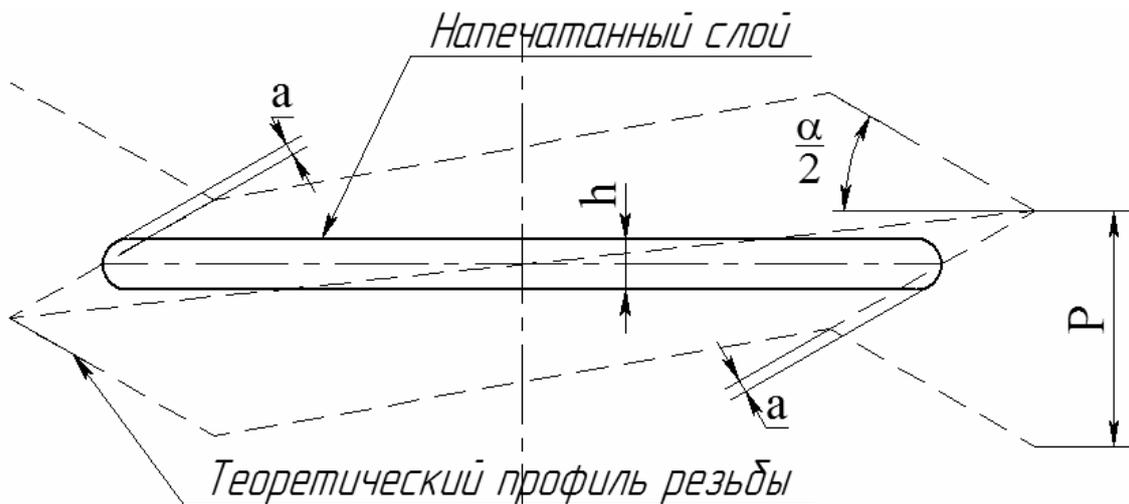


Рис. 2 – Схема для определения погрешности резьбы, вызванной слоистостью детали.

Для компенсации погрешности резьбы от слоистости детали с целью обеспечения собираемости соединения можно увеличить диаметр резьбы в отверстии детали (рис. 3) [3], что, однако, приведет к снижению прочности резьбового соединения.

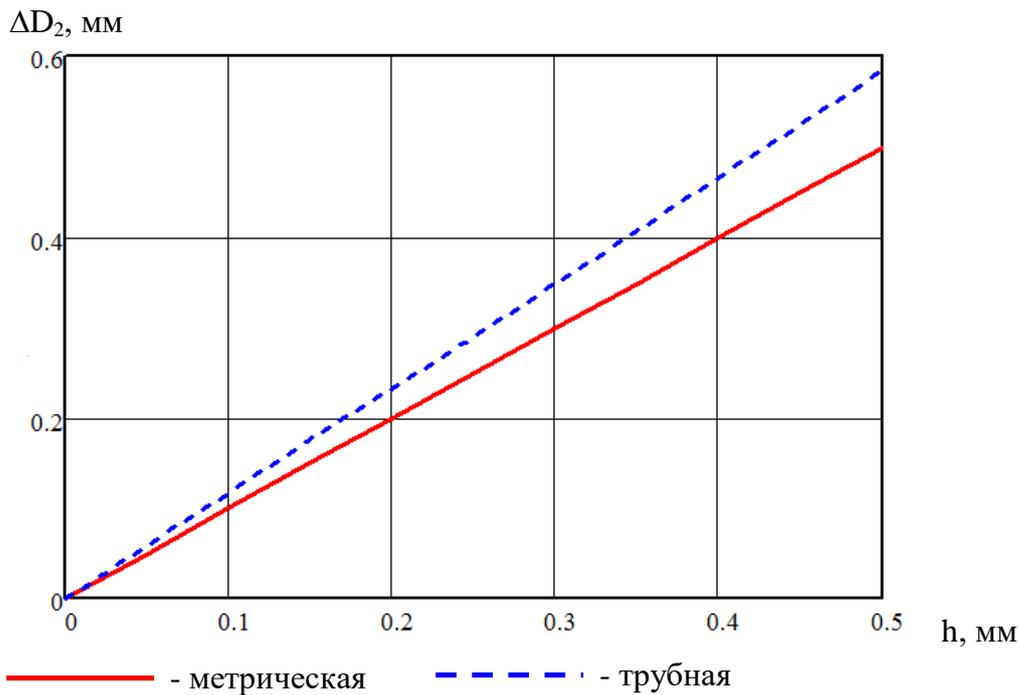


Рис. 3 – Приращение среднего диаметра внутренней резьбы для компенсации погрешности от слоистости детали.

Если толщина слоя при 3D печати будет больше, чем ширина выступа или впадины резьбы, искажение резьбового профиля будет столь значительно, что сборка соединения

станет невозможным. Следовательно, 3D печать метрической резьбы по FDM технологии возможна только при выполнении условия [4]:

$$h < P/8, \quad (2)$$

где P – шаг резьбы, мм.

При необходимости печатать резьбы меньшего шага можно уменьшить погрешность, увеличив угол профиля резьбы до 90° или используя полукруглую резьбу. Однако, в данном случае потребуются изготавливать такую же нестандартную наружную резьбу на сопрягаемой детали, что в большинстве случаев будет затруднительно.

При 3D печати крупных резьб с шагом больше 3 мм может возникнуть потребность в подержках, удаление которых из резьбового отверстия является нетривиальной задачей.

Другим фактором, влияющим на точность резьбы при 3D печати по технологии FDM, является усадка материала при остывании детали. Она приводит к уменьшению диаметра отверстия. Величина усадки зависит от материала и размеров детали и условий печати и в настоящее время не может быть определена теоретически. Для определения размеров детали с учетом усадки требуется проведение экспериментов.

Повысить качество напечатанной резьбы можно путем ее калибровки метчиком [5]. Такая комбинированная технология может быть использована как для повышения качества мелких резьб, так и для удаления поддержек из резьб крупных. Калибровку напечатанной резьбы рекомендуется производить вручную, чтобы обеспечить попадание зубьев метчика в резьбовую канавку.

Таким образом, изготавливать непосредственно 3D печатью по FDM технологии целесообразно внутренние резьбы в диапазоне от M10 до M20. При этом, обеспечение необходимой точности может быть достигнуто лишь экспериментальным путем. Для более мелких и более крупных резьб приемлемое качество может быть достигнуто только с использованием комбинированной технологии с использованием окончательной калибровки напечатанной резьбы метчиком. Приведенные рекомендации справедливы и для других аддитивных технологий за исключением того, что с помощью таких технологий, как стереолитография и струйная 3D печать, могут быть непосредственно получены качественные внутренние резьбы более широкого диапазона диаметров [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Diciuc V. Study regarding the Printing of Metric Threads on a FDM 3D printer. Scientific Bulletin, Serie C, Fascicle: Mechanics, Tribology, Machine Manufacturing Technology, Vol. 2019. No.XXXIII.

2. Tronvoll S.A., Elverun C.W., Welo T. Dimensional accuracy of threads manufactured by fused deposition modeling. *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 26. Pp. 763–773.
3. Афонин А.Н. Технологии получения резьбовых соединений изделий аддитивного производства // *Аддитивные технологии*, 2024, №6.
4. Фарниев А.С., Новиков П.А. Математическая модель точности аддитивной печати профиля внутренней резьбы в зависимости от параметров деления 3D-модели. *Современные технологии: проблемы и перспективы: Сб. статей всеросс. научно-практ. конф. Севастополь, 2021. С. 5 – 10.*
5. Фарниев А.С., Новиков П.А. Точность внутренних резьб, полученных комбинированными методами механической обработки и аддитивными технологиями *Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета*. 2021. № 3 (73). С. 176-181.
6. Kajzer W., Gieracka K., Pawlik M., Basiaga M. Tests of Threaded Connections Made by Additive Manufacturing Technologies. *Innovations in Biomedical Engineering*, 2019. Pp.329-337.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ КМА ДЛЯ ПЛАЗМЕННОГО СИНТЕЗА ОБЛИЦОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Бессмертный В.С.¹, Здоренко Н.М.², Варфоломеева С.В.³, Гаевой А.П.¹

¹Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол,

²Белгородский университет кооперации, экономики и права, Россия, г. Белгород,

³Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, г. Белгород

vbessmertnyi@mail.ru, otdel-BI@buket.ru, a_gaevoy@list.ru

Аннотация. Рассмотрена возможность использования отходов обогащения железистых кварцитов КМА для плазменного синтеза облицовочных материалов. Исследованы такие эксплуатационные показатели, как водостойкость, морозостойкость и микротвердость облицовочного материала марблита. Исследован фазовый состав, макро- и микроструктура марблита.

Ключевые слова: отходы КМА; марблит; плазменная печь; водостойкость; морозостойкость; микротвердость.

USE OF ENRICHMENT WASTE FROM FERRUGINOUS QUARTZITES KMA FOR PLASMA SYNTHESIS OF FACING MATERIALS

Bessmertny V.S.¹, Zdorenko N.M.², Varfolomeeva S.V.³, Gaevoy A.P.¹

¹Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

²Belgorod University of Cooperation, Economics and Law

³Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova

Abstract. The possibility of using waste from the enrichment of ferruginous quartzites KMA for plasma synthetic cladding materials is considered. Such performance indicators as water resistance, frost resistance and microhardness of the marble cladding material have been studied. The phase composition, macro- and microstructure of marblit have been studied.

Keywords: KMA waste; marblit; plasma oven; water resistance; frost resistance; microhardness.

В настоящее время разработаны плазменные технологии переработки и синтеза силикатных материалов на основе техногенных отходов промышленности. Данные технологии позволят повысить эксплуатационные показатели продукции, значительного

снизить энергозатраты, ускорить технологический процесс и повысить производительность труда [1-3]. Разработаны эффективные плазменные технологии получения тугоплавких стекол, силикат глыбы, стеклянных волокон [4-6]. Облицовочный материал марблит является весьма востребованной продукцией в жилищном строительстве и успешно конкурирует с другими стеновыми и облицовочными керамическими материалами, изделиями из бетона с защитно-декоративными покрытиями, керамогранитом и др. Однако для получения марблита требуется дефицитное сырье и материалы, а традиционная технология требует значительных энергетических затрат [7]. Разработан ряд технологий синтеза марблита, однако их недостатком является длительность технологического процесса, высокая энергоемкость и относительно низкое и качество конечного продукта [8, 9].

Целью работы является разработка технологии плазменного синтеза марблита с использованием отходов обогащения железистых кварцитов КМА.

Готовили шихту на основе смеси натриевого жидкого стекла, отходов ванадиевого производства и отходом обогащения железистых кварцитов КМА при соотношении 1:1:2 весовых частей и использованием лабораторного смесителя. Жидкое натриевое стекло брали по ГОСТ–13078-2021.

Химический состав отвода ванадиевого производства и отхода обогащения железистых кварцитов КМА представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав отходов

№ п/п	Наименование	Содержание оксидов, мас. %												
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	Mn ₂ O ₃	V ₂ O ₅	П.п.п
1	Отходы обогащения железистых кварцитов КМА	66,19	9,51	9,06	6,44	3,70	4,08	0,69	0,51	0,16	0,11	-	-	5,19
2	Отходы ванадиевого производства	3,22	0,41	-	-	36,93	5,03	-	-	33,02	-	17,39	2,81	1,19

Контроль качества продукции производили по стандартным методикам. Морозостойкость марблита проводили по степени повреждений и потере массы (п. 7.4.1. и 7.4.2 по ГОСТ 7025-91). Водостойкость марблита производили по ГОСТ-10131.1-82. Рентгенофазовый анализ синтезированного марблита проводили на дифрактометре ART XTRA Thermo FisherScientific. Оксидный состав исходных компонентов определяли на спектрометре APL 9900 Thermoscientific (Швейцария) при следующих параметрах: кобальтовый анод и K_α – излучение при 60 кВ. Микроструктуру марблита после плазменного

синтеза определяли с использованием сканирующего электронного микроскопа TESCANMIRA 3 LMU. Твердость твердость покрытия определяли по методу Виккерса.

Шихту гранулировали в лабораторном грануляторе, которую помещали в пакет из трех корундовых тигелей. Тигель загружали в плазменную печь и зажигали плазменную горелка ГН-5р электродугового плазмотрона УПУ -8М. Мощность работы плазмотрона составила 24 кВт, расход плазмообразующего газа аргона – 0,9 м³/час, температура плазменной струи составляла 9000К. Время сипнеза- 0,25 часа. После синтеза пакет тиглей с расплавом извлекали из печи и расплав разливали по металлическим формам.

Синтез марблита проводили в плазменной тигельной печи, которая представлена на рисунке 1. Плазменная печь содержит корпус 1, футерованный огнеупором 2, выполненный с технологическими проемами 3, 4, 5, 6. В проеме 3 установлены вытяжная вентиляция 7, а в проемах 4 и 5 закреплена монтажная балка 8, на которой установлены и зафиксированы плазменные горелки 9, 10, 11. Через технологический проем 6, который снабжен затвором 12, установлен пакет тиглей 13. Тигельная печь установлена на опорные ножки 14.

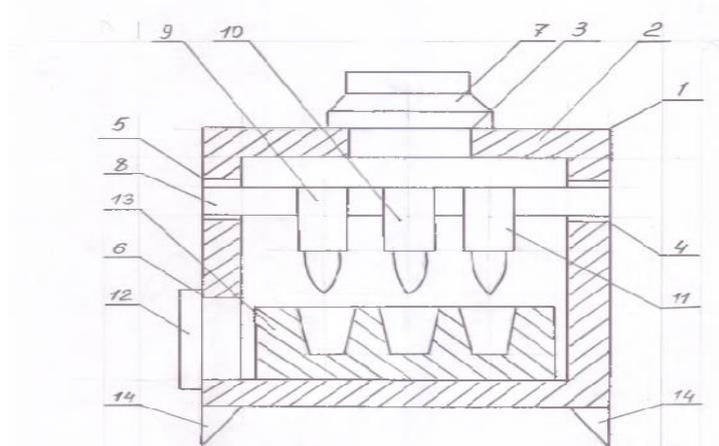


Рис. 1 – Тигельная печь для синтеза марблита

Технологические параметры и показатели качества марблита представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технологические параметры и показателей качества марблита

№	Наименование показателя	Значение показателя
1	Прочность на сжатие, МПа	150
2	Морозостойкость, циклы	120
3	Водостойкость, гидrolитический класс	3/98
4	Время синтез, час	0,25
5	Мощность работы плазмотрона, кВт	24
6	Расход плазмообразующего газа аргона, м ³ /час	0,9

Отход ванадиевого производства имеет в своем составе оксиды марганца и ванадия, которые в составе марблита окрашивают его в черный цвет. При плазменном синтезе марблита образуется расплав, обогащенный оксидом железа с пониженной вязкостью расплава, что ускоряет синтез марблита. Соотношение в смеси жидкого стекла, отхода ванадиевого производства и отхода обогащения железистых кварцитов КМА 1:1:2 весовых частей является оптимальным. При увеличении содержания жидкого стекла в смеси, более 1 весовой части водостойкость снижается с 3 до 4 гидролитического класса. При увеличении содержания отхода обогащения железистых кварцитов КМА в смеси более 2 весовых частей морозостойкость снижается с 120 до 100 циклов замораживания-оттаивания. Время синтеза марблита 0,25 часа является оптимальной. Рентгенофазовый анализ показал отсутствие в составе марблита кристаллических фаз (рис. 2).

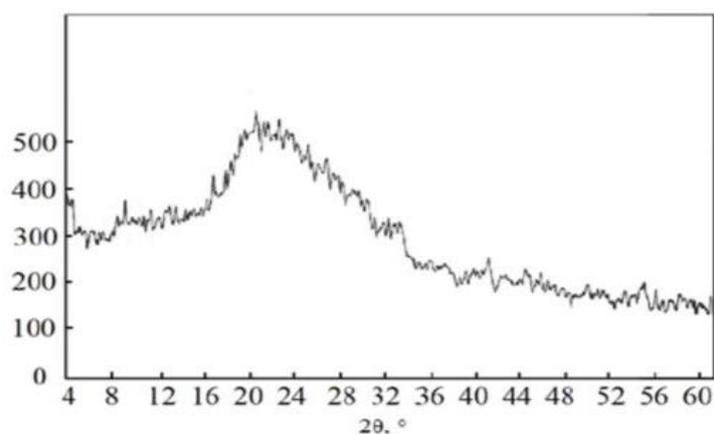


Рис. 2 – Порошковая рентгеновская дифрактограмма марблита, синтезированного за 0,25 часа

При увеличении времени синтеза марблита более 0,25 часа происходит инконгруэнтное испарение расплав, что снижает его показатели качества. При снижении времени синтеза марблита менее 0,25 часа наблюдается непровар шихты с наличием кристаллической фазы, что приводит к получению некачественной продукции. После синтеза исследовали твердость марблита. Введение в состав шихты оксидов марганца и ванадия способствует повышению микротвердости марблита. Микротвердости марблита составляет 620 HV.

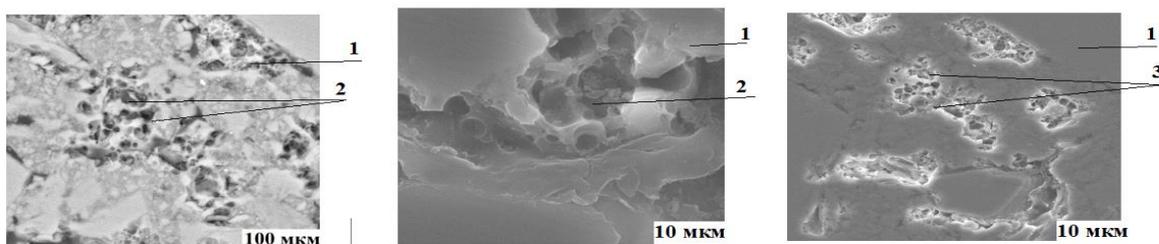


Рис. 4 – Макро- и микроструктура глазурованной мрамблита: 1 – матрица; 2 – газовые включения; 3 – зоны микроликваций.

Макро – и микроструктура мрамблита представлена на рис. 4 В мрамблите имеются газовые включения размером 10-25 мкм. В мрамблите обнаружены зоны микроликваций, обогащенные оксидом кремния размером 15—30 мкм.

Разработана энерго- и ресурсосберегающая плазменная технология синтеза мрамблита, которая является энерго- и ресурсосберегающей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Бондаренко, Д.О., Строкова, В.В., Тимошенко, Т.И., Роздольская, И.В. Плазмохимическое модифицирование облицовочного композиционного материала на основе полых стеклянных микросфер с защитно-декоративным покрытием // Перспективные материалы. 2018. № 8. С. 72-80.
2. Шеремет, М.А., Никифор, А.А., Волокитин, О.Г. Комплекс для получения силикатного расплава из золоотходов // Стекло и керамика. 2007. № 9. С. 23-26.
3. Никифоров, А.А., Маслов, Е.А., Скрипникова, Н.К., Волокитин, О.Г. Исследование плазменной технологии получения силикатных тугоплавких расплавов // Теплофизика и аэромеханика. 2009. Т. 16. № 1. С. 159-163.
4. Скрипникова, Н.К., Отмахов, В.И., Волокитин, О.Г. Процессы, протекающие при плазмохимическом синтезе тугоплавких силикатных материалов // Стекло и керамика. 2010. № 1. С. 19-21.
5. Волокитин, О.Г., Верещагин, В.И., Волокитин, О.Г. и др. Получение силикатных расплавов с высоким силикатным модулем из кварц-полевошпатсодержащего сырья по плазменной технологии // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2014. Т. 57. № 1. С. 73-77.
6. Волокитин, О.Г., Скрипникова, Н.К., Волокитин, Г.Г. и др. Минеральное волокно, полученное в агрегатах низкотемпературной плазмы из продуктов сжигания каменного угля и горючих сланцев // Строительные материалы. 2013. № 11. С. 44-47.

7. Будов В.М., Саркисов П.Д. Производство строительного и технического стекла: Учеб. Для ПТУ. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш.шк., 1991 – 319 с.: ил.

8. Пат. РФ 2797301 МПК С03С 6/02 (2006.01) С03С 10/04 (2006.01) С03С 4/02 (2006.01) Шихта для получения марблита на основе отходов промышленности/ В.С. Бессмертный В.С., Е.В. Исаенко, Е.Е. Тарасова, Н.М. Здоренко. № 2022124184; заявл. 13.09.2022; опубл. 01.06.2023. Бюл. № 16. 5 с.

9. Пат. РФ 2588240 МПК С03С 4/02 (2006.01) С03С 6/00 (2006.01) Шихта для получения марблита черного цвета / В.С. Бессмертный В.С., Н.М. Здоренко, Н.И. Бондаренко, И.В. Роздольская, №2015107586; заявл. 04.03.2015; опубл. 27.06.2016. Бюл. № 18. 5 с.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ

Бородина М.Б., Шуляк Д.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
tomt_sti_misis@mail.ru*

***Аннотация.** В статье проведен анализ недостатков известных и исследуемых предохранительных устройств конусной дробилки и предложено принципиально новое гидромеханическое предохранительное устройство, объединяющее гидромеханическое устройство раскрытия щели конусной дробилки и гидромеханическую защиту привода единой гидросистемой. Такое техническое решение позволило согласовать работу двух защитных систем и устранить выявленные недостатки.*

Ключевые слова: измельчение горных пород; конусная дробилка; гидромеханическое устройство; защита привода; динамические нагрузки; зона дробления.

DEVELOPMENT OF A COMPREHENSIVE SAFETY DEVICE FOR A CONE CRUSHER

Borodina M.B., Shulyak D.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

***Abstract.** The article analyzes the shortcomings of known and studied safety devices of a cone crusher and proposes a fundamentally new hydromechanical safety device that combines a hydromechanical device for opening the gap of a cone crusher and hydromechanical protection of the drive with a single hydraulic system. This technical solution made it possible to coordinate the operation of two protective systems and eliminate the identified shortcomings.*

Keywords: crushing of rocks; cone crusher; hydromechanical device; drive protection; dynamic loads; crushing zone.

Экспериментальные исследования гидромеханического предохранительного устройства привода конусной дробилки показали, что при срабатывании предохранительного устройства от перегрузки, дробилка останавливается под завалом, что приводит к дополнительным временным и трудовым затратам при восстановлении работоспособного состояния [1].

Для разгрузки дробилки от недробимых тел используется специальное гидромеханическое устройство, состоящее из системы упругих элементов, прижимаемых чашу дробилки к основанию, гидродомкратов для подъёма чаши, в случае попадания не дробимого тела в зону дробления и заклинивания дробилки, гидросистемы и системы управления [2]. Недостаток этого устройства заключается в том, что работа домкратов по подъёму чаши осуществляется только после заклинивания дробилки не дробимым телом и остановке привода. Известны аналогичные устройства, в которых при попадании недробимого тела процесс раскрытия щели дробилки происходит за счет увеличения силы выше предельного значения между бронями и материалом в зоне дробления, но при этом двигатель и все элементы дробилки работают в режиме перегрузки до тех пор, пока недробимое тело не покинет зону дробления. Это значительно снижает ресурс элементов дробилки.

При использовании предложенного гидромеханического предохранительного устройства привода в конусной дробилке с устройством регулирования щели зоны дробления в работе задействованы две автономные гидросистемы, что усложняет конструкцию устройства в целом и затрудняет эксплуатацию, так как по результатам экспериментов был выявлен риск остановки дробилки под завалом.

Исходя из этого возникает необходимость разработки комбинированного устройства, которое будет объединять в себе два автономных предохранительных устройства конусной дробилки, повышающее эффективность его эксплуатации за счет снижения рисков заклинивания не дробимого тела и остановки дробилки под завалом.

Указанный технический результат достигается тем, что в гидросистему устройства введена гидролиния с управляемым краном, которая соединяет обращаемый гидравлический насос с гидроцилиндрами подъёма дробильной чаши дробилки [3].

Комбинированное гидромеханическое предохранительное устройство конусной дробилки, представленное на рисунке 1, работает следующим образом.

Привод 1 вращения дробильного конуса 2 через дифференциальный передаточный механизм кинематический связан с обращаемым гидравлическим насосом 3 (мотор-насос). Дифференциальный передаточный механизм выполнен в виде конического дифференциала, причём привод 1 связан с солнечным колесом 4 (коническая шестерня), а обращаемый гидравлический насос 3 связан зубчатой передачей с водилом 5.

Обращаемый гидронасос 3 гидравлически связан напорной линией 6 с гидроаккумулятором 7, а через управляемый кран 8 связан со сливной емкостью 9. Управляемый кран 8 связан с управляющей системой 10 по моменту на муфте. Момент на

муфте находится через давление в напорной линии 6, которое регистрируется манометром 11 (датчик давления), сигнал с которого передается управляющей системе 10.

В линии 6, которая связывает гидроаккумулятор 7 с обратным гидронасосом 3, смонтирован управляемый дроссель 12. Параллельно дросселю 12 смонтирован обратный клапан 13, имеющий возможность ускоренного перетекания рабочей жидкости из гидроаккумулятора 7 в обратный гидронасос 3.

Зубчатое колесо 14 входит в зацепление с колесом на водиле 5, которое связано с сателлитами 15, входящими в зацепление с коническим колесом 16, связанным с валом дробильного конуса 2.

Зубчатые колеса 14, 16 и колесо на водиле 5 закреплены на неподвижном основании дробилки посредством подшипниковых узлов.

Напорная линия 6 через управляемый кран 17 и дроссель 18 связана с гидроцилиндрами 19 подъема дробильной чаши 20, которая системой упругих элементов 21 прижимается к основанию дробилки.

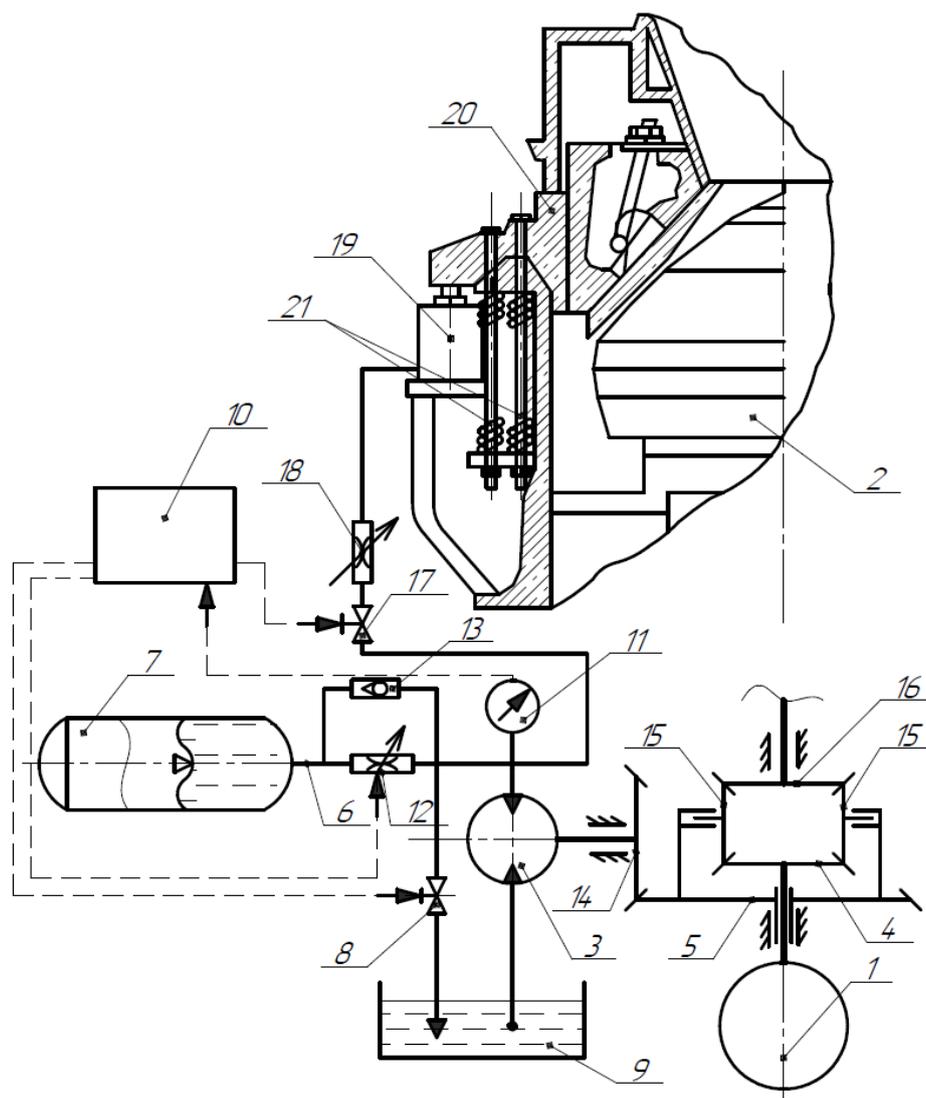


Рис. 1 – Комбинированное предохранительное устройство конусной дробилки

На установившемся режиме работы дробилки момент от привода 1 через колесо 4 (коническую шестерню), сателлиты 15 и колесо 16 передается на вал дробильного конуса 2. При этом колесо на водиле 5 удерживается от поворота обрачаемым гидронасосом 3, т.к. момент, действующий на обрачаемый гидронасос 3 со стороны передаточного механизма, уравнивается моментом, который создает давление в напорной линии 6, связанной с гидроаккумулятором 7. В этом случае управляемые краны 8 и 17 закрыты.

Рост момента на валу дробильного конуса 2 приводит к тому, что коническое колесо на водиле 5 начинает проворачиваться и обрачаемый гидронасос 3, демпфирует нагрузку, таким образом начинается работа в режиме насоса. Жидкость закачивается через дроссель 12 в гидроаккумулятор 7 до момента уравнивания давления в обрачаемом гидронасосе 3 с давлением в гидроаккумуляторе 7. В гидроаккумуляторе происходит накопление части

энергии. Степень дросселирования в дросселе 12 регулируется, это позволяет изменять демпфирующие свойства муфты во время наладки и в процессе работы.

При уменьшении момента вала конуса 2, обращаемый гидронасос 3 работает в режиме мотора. Колесо на водиле 5 начинает проворачиваться в обратную сторону и возвращать энергию, которая была накоплена в гидроаккумуляторе 7, в привод 1 до момента уравнивания состояния. Ускоренный возврат жидкости в обращаемый гидронасос 3 происходит за счет обратного клапана 13. В линии 6 создается давление, которое пропорционально передаваемому крутящему моменту.

При кратковременном (ударном) росте рабочей нагрузки, выше допустимого значения, что говорит о попадании не дробимого предмета небольшого размера между конусом 2 и чашей 20, растет давление в напорной линии 6. Система управления 10 открывает кран 17, жидкость при высоком давлении поступает в систему гидроцилиндров 19, которые приподнимают чашу 20, сжимая упругие элементы 21. Увеличивается зазор между дробильной чашей 20 и дробящим конусом 2 и не дробимый предмет удаляется из рабочей зоны дробилки. При этом дроссели 12 и 18 создают приостановку времени перехода некоторого объема жидкости в гидроаккумулятор 7 и гидроцилиндры 19. Наличие гидравлических сопротивлений в системе и в дросселях 12 и 18 рассеивает часть энергии и обеспечивает быстрое затухание возможного колебательного процесса. Кроме того, дроссель 12 обеспечивает временную приостановку перехода рабочей жидкости из обращаемого гидронасоса 3 в гидроаккумулятор 7, что увеличивает время отключения привода 1 без его перегрузки и позволяет исключить «ложное» отключение привода.

Быстрый возврат жидкости из гидроаккумулятора 7 происходит через обратный клапан 13. Это дает возможность уменьшить время перехода элементов устройства в равновесное состояние после уменьшения импульсной кратковременной пиковой нагрузки до номинальной, которое происходит из-за ликвидации не дробимого тела. Такая последовательность особенно важна в случаях, когда пиковые нагрузки следуют короткими сериями. Таким образом, замедление возврата элементов устройства в рабочее положение приводит к наложению относительных поворотов зубчатых колёс (путем временной задержки), это в свою очередь приводит к «ложному» отключению привода. Внедрение обратного клапана 13 в параллель дросселю 12 позволяет исключить такое развитие событий.

Если момент на муфте растет до значений предельно допустимых в течение продолжительного времени при открытом кране 17 (аварийная ситуация или заклинивание слишком большого фрагмента не дробимого тела). Происходит рост давления в напорной магистрали 6 и управляющая система 10 перекрывает управляемый кран 17 и открывает

управляемый кран 8. В таком случае рабочая жидкость из обращаемого гидронасоса 3 и гидроаккумулятора 7 переходит в емкость 9 для слива жидкости. Таким образом, происходит резкое падение давления в гидросистеме и обращаемый гидронасос 3 не способен удерживать коническое колесо на водиле 5 дифференциального передаточного механизма. Обращаемый гидронасос 3 начинает работать на холостом ходу насоса, происходит свободное вращение конического колеса на водиле 5. Такие действия обеспечивает остановку конического колеса 16, который связан с валом дробящего конуса 2, которое, в свою очередь, находится под нагрузкой. Резко падает момент на валу привода 1 и система управления 10 отключает его. Дробилка останавливается с максимально раскрытой разгрузочной щелью, что упрощает разгрузку дробилки от завала.

В момент ликвидации причины перегрузки привода 1, либо автоматически, либо по команде оператора происходит открытие управляемого крана 17 и дробильная чаша опускается до необходимого размера разгрузочной щели, после чего система управления закрывает кран 17, закрывается управляемый кран 8, происходит самовосстановление устройства и переход в исходное состояние.

Гидромеханическое устройство обладает пускозащитной функцией. При пуске двигателя привода управляемый кран 8 может быть закрыт. В этом случае обращаемый гидронасос 3 начинает работать в режиме насоса. Происходит накачка жидкости в гидроаккумулятор 7 до тех пор, пока давление в напорной линии 6 не станет пропорциональным моменту, необходимому для преодоления инерционности механизма, момента страгивания и начала движения колеса 16. Далее нагрузочный момент снижается до номинального значения, давление в напорной линии 6 снижается до значения, пропорционального номинальному моменту, приводя систему к установившемуся режиму работы. При этом обращаемый гидронасос 3 работает в режиме гидромотора, отдавая часть энергии, накопленной при пуске в систему. Этим обеспечивается плавное повышение нагрузки на электродвигатель привода 1 в режиме пуска.

В тяжело нагруженных машинах целесообразно электродвигатель запускать на холостом ходу, тогда управляемый кран 8 может быть открыт. В этом случае обращаемый гидронасос 3 работает в режиме насоса, а жидкость свободно циркулирует, перетекая в сливную емкость 9 до тех пор, пока не завершится пусковой режим электродвигателя привода 1. Все это время колесо 16 остается неподвижным. Далее управляемый кран 8 закрывается и происходит процесс аналогичный первому случаю.

Использование в дробилке предлагаемого предохранительного устройства за счёт автоматического подъёма дробильной чаши при резком возрастании нагрузок позволит значительно снизить риск заклинивания не дробимого тела и остановки дробилки под

завалом, а также позволит избежать влияния высоких динамических нагрузок и перегрузок на привод и элементы дробилки при освобождении от не дробимого тела. По этой идее был получен патент РФ на изобретение [3].

Таким образом, новое комбинированное предохранительное устройство решает проблему остановки дробилки под завалом, выявленную при проведении экспериментальных исследований гидромеханического предохранительного устройства с зубчатым дифференциальным механизмом в приводе конусной дробилки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Белов Н. В. Экспериментальные исследования гидромеханического предохранительного устройства в приводе конусной дробилки // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2023. № 23. С. 197-204.
2. Ковалёв Н.А. Устройство для разгрузки конусной дробилки от недробимых тел. Авторское свидетельство СССР №1162485 МПК В02 С 2/04, от 23.06.1985.
3. Белов Н.В., Бородина М.Б., Груздова О.А., Часовских А.С. Гидромеханическое предохранительное устройство конусной дробилки. Патент РФ № 2792483 Бюл. № 9, 2023. В02С 2/04.

ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ ДЕФОРМИРУЮЩИМ РЕЗАНИЕМ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Васильев С.Г.

*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, Россия, г. Москва
105005, г. Москва, ул. Бауманская 2-я, д. 5, стр. 1.*

***Аннотация.** В статье рассматривается способ предварительной подготовки поверхностного слоя путем создания регулярного макрорельефа методом деформирующего резания (ДР) для последующих технологических методов формирования упрочненных износостойких покрытий на сталях методами диффузионного легирования и газотермических способов напыления.*

Ключевые слова: деформирующее резание; упрочнение; износостойкие покрытия; диффузионное легирование; газотермическое напыление.

SURFACE PREPARATION BY DEFORMING CUTTING TO FORM REINFORCING COATINGS

Vasiliev S.G.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5, building 1

***Abstract.** The article considers a method of preliminary preparation of the surface layer by creating a regular macrorelief by deforming cutting (DR) for subsequent technological methods of forming hardened wear-resistant coatings on steels by diffusion alloying and gas-thermal spraying methods.*

Keywords: deforming cutting; hardening; wear-resistant coatings; diffusion alloying; thermal spraying.

Существуют различные методы и способы создания упрочняющих покрытий, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками, что позволяет увеличивать время межрегламентного обслуживания механизмов и сокращать объёмы работ по ремонту и восстановлению узлов и агрегатов. Широко используются покрытия для деталей горнорудного, сельскохозяйственного и энергетического оборудования. Как правило, износу подвергаются только отдельные элементы деталей, с сохранением прочности всей детали. Совершенствование существующих и создание новых технологических методов упрочнения

путем формирования износостойких покрытий является актуальной научно-технической задачей.

Использование метода деформирующего резания (ДР) позволило разработать новое направление по созданию износостойких покрытий. Метод деформирующего резания разработан в МГТУ им Н.Э. Баумана профессором Зубковым Н.Н. [1,4], метод имеет широкие технологические возможности использования [2]. В результате использования метода ДР разработан новый способ создания упрочняющих покрытий большой толщины с управляемой структурой и свойствами на основе сочетания методов ДР и диффузионного легирования методами химико-термической обработки (ХТО). Формированию покрытия новым способом, метод ДР является основной технологической операцией, при подготовке поверхности путем формирования макроструктуры в виде регулярных вертикальных или наклонных слоев металла, разделенных глубокими канавками [3]. Метод ДР основан на последовательном подрезании и пластическом деформировании слоев материала детали режущим инструментом в виде клина со специальной геометрией. Подрезанные слои материала во время механической обработки не сходят с обработанной поверхности, а остаются прочно прикрепленными к основному материалу детали, создавая на поверхности детали регулярный макрорельеф в виде оребренной структуры, рис.1. Процесс формирования макрорельефа осуществляется на металлорежущем оборудовании токарной, фрезерной группы. Слои металла плотно прикреплены к обработанной поверхности и расположены по винтовой линии, по существу, они являются не отделившейся от заготовки стружкой. Размерами макрорельефа можно управлять посредством изменения глубины резания t , подачи S_0 , и геометрии режущей части инструмента.

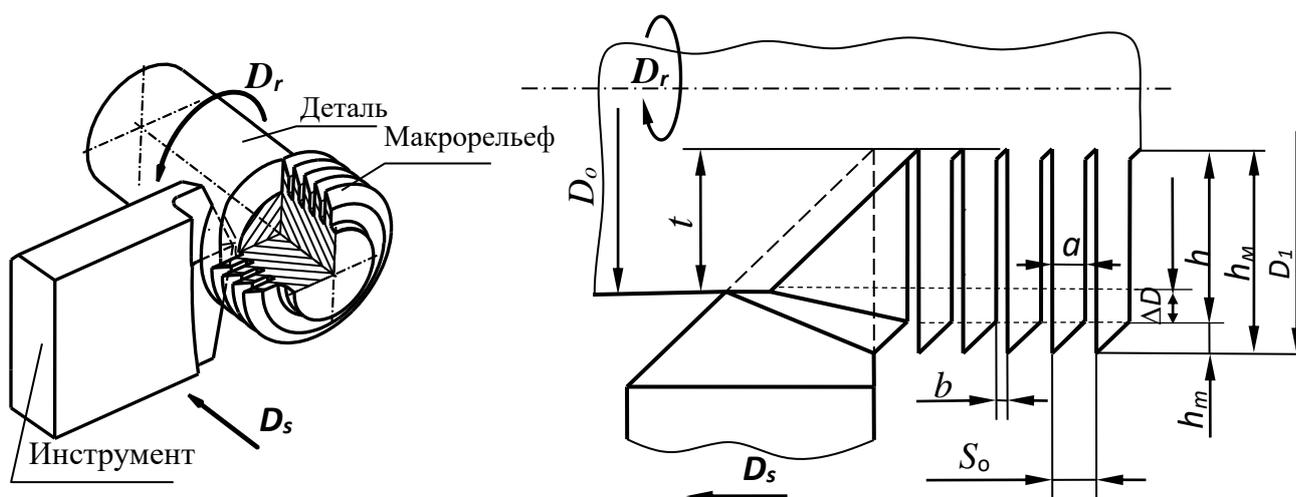


Рис. 1 – Формирование макрорельефа методом деформирующего резания

Типичные размеры макроструктуры на сталях составляют: шаг слоев $S_0 = 0,1...0,7$ мм, ширина каналов $b = 1...150$ мкм, высота макроструктуры $h_m = 0,3...1,7$ мм.

Множество равномерно расположенных, глубоких узких каналов на поверхности, ускоряют поток диффундирующего элемента вглубь поверхности при ХТО. Насыщающая среда легко проникает по канавкам между ребрами на всю глубину легируя боковые стороны ребер. Каналы обеспечивают одинаковый доступ насыщающей среды по всей толщине макрорельефа. Если размер b между слоями минимальный или близок к нулевым значениям диффузионный процесс также осуществим и протекает по границам прилегающих поверхностей ребер. Макрорельеф в этом случае, предварительно, формируется наклонным. В результате создаются диффузионные покрытия большой толщины, с равномерным распределением легирующих элементов по толщине покрытия.

Таким образом устраняется экспоненциальное уменьшение концентрации легирующего элемента по толщине покрытия присущее традиционным методам диффузионного легирования. В результате толщина создаваемого покрытия задается не временем насыщения, а непосредственно процессом ДР, что позволяет создать диффузионные покрытия толщиной до 1,5мм.

При диффузионном насыщении на боковых сторонах ребра может происходить диффузионный прирост, приводящий к уменьшению ширины канала b между ребрами. Изменяя ширину каналов b между ребрами, можно обеспечить получение диффузионного покрытий с регулируемой пористостью. Если ширина канала b меньше или равна диффузионному приросту слоя, то каналы зарастают полностью и формируется беспористый диффузионный слой.

Одновременно с созданием упрочненного слоя в процессе формирования макрорельефа, происходит увеличение диаметральных размеров детали типа вал, что позволяет использовать метод упрочнения поверхности с одновременным восстановлением размеров вала. На рис.1, размер D_0 является исходным диаметром вала, ΔD размер увеличения диаметра вала, h высота ребра после удаления треугольного заострения величиной h_m точением или шлифованием.

При необходимости создать толщину упрочненного слоя, например при насыщении углеродом гладкой поверхности на глубину 1,4мм, время ХТО в среднем составляет 10...14 часов. При наличии макрорельефа высотой 1,4 мм, толщиной ребер 0,8 мм, время обработки материала ребер составит менее 4,5 часов, поскольку диффузия протекает с обеих сторон ребра. Таким образом, подготовка поверхности в виде оребрения, высотой равной требуемой толщине будущего покрытия позволяет значительно сократить время и энергозатраты для проведения последующей операции ХТО.

Регулируя время процесса ХТО и размеры макрорельефа получены основные четыре типа структур: беспористые полностью упрочненные покрытия, беспористые упрочненные покрытия с мягкой прослойкой исходного материала, пористые полностью упрочненные, упрочненные пористые в виде узких канавок с мягкой прослойкой исходного материала. На рис.2 представлены варианты упрочненных структур, полученных при совмещении процессов ДР и ХТО.

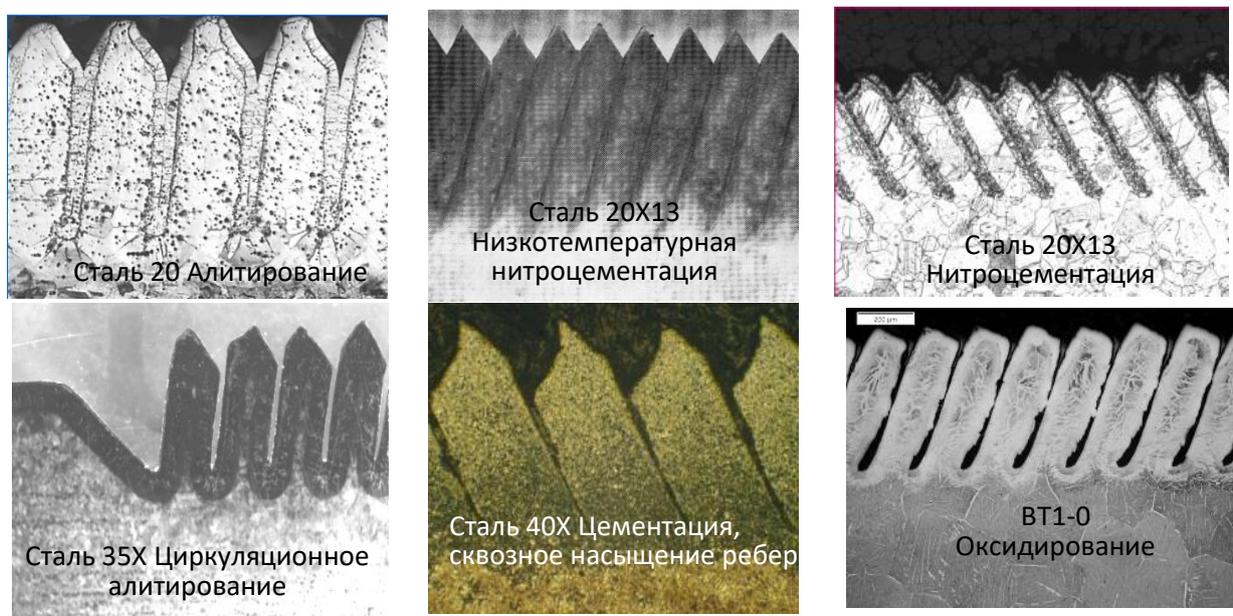


Рис. 2 – Варианты упрочненных поверхностных структур на сталях

Перспективными методами создания упрочненного поверхностного слоя является нанесение покрытий газотермическими методами. Основной проблемой при нанесении покрытий является подготовка поверхности, которая обеспечивает прочность связи материала покрытия с основой детали. Это относится к нанесению металлокерамических и керамических материалов, имеющих значительное отличие от характеристик материала детали из стали.

Макрорельеф перед напылением металлокерамических и керамических материалов многократно увеличивает площадь контакта материала покрытия с основой и позволяет реализовать анкерный эффект удержания покрытия. При напылении материал покрытия заполняет межреберный зазор полностью, рис.3, например, при напылении твердосплавного покрытия (88% Wc+12%Co) газотермическим методом и керамического покрытия на основе окиси алюминия плазменным напылением.

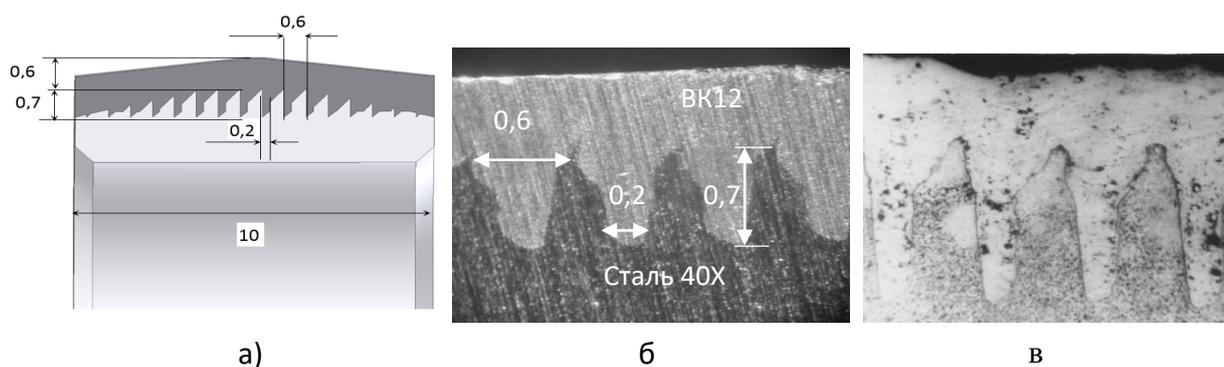


Рис. 3 – Схема кольца прошивки с твердосплавным покрытием (а), фрагмент шлифа поперечного среза кольца прошивки из твердого сплава ВК12 (б), поперечный срез керамического покрытия (в)

Примером реализации метода в подготовке поверхности для нанесения покрытия стало нанесение покрытия из твердого сплава ВК12, на кольца деформирующей прошивки из стали 40Х. Покрытие наносилось при использовании готового порошка твердого сплава марки Sulzer Metco Diamalloy методом сверхзвукового газопламенного напыления, рис.3, по технологии разработанной профессором Воронежским А.В.

Заводские испытания прошивки в условиях производства показали положительные результаты работы при упрочнении отверстий в 184 балках переднего моста автомобиля ЗИЛ 4314.

Испытания на термоциклирование керамического покрытия, нанесенного на макрорельеф, сформированный на детали из стали 40Х, рис.3, продемонстрировали положительные показатели прочности сцепления покрытия при нагреве до 1000⁰С с последующим погружением в воду при повторении нагрева в количестве 28 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Зубков Н.Н. Разработка и исследование метода деформирующего резания как способа формообразования развитых макрорельефов: дисс. ... д-ра техн. наук. М. 2001. 478 с.
2. Зубков Н.Н., Васильев С.Г. Повышение износостойкости деталей пар трения скольжения на основе метода деформирующего резания. Упрочняющие технологии и покрытия. 2013. № 8 (104). С. 3-9.
3. Васильев С.Г. Упрочнение поверхности с использованием деформирующего резания. Сборнике: Будущее машиностроения России. Сборник докладов Двенадцатой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов (с международным участием). 2019. С. 31-38.

4. Пат.2015202 (РФ). Способ упрочнения поверхности детали / Н.Н. Зубков, А.И. Овчинников, С.Г. Васильев и др. // Изобретения. – 1994.– №12.

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ СКОРОСТИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ

Владимиров А.А., Кудинов Е.А., Гаевой А.П., Качановский А.Р.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
vladimirov.al.an@yandex.ru, ekudinov81@gmail.com, a_gaevoy@list.ru, kachanovskii.sasha@mail.ru*

***Аннотация.** Статья посвящена исследованию влияния вибрационной скорости на формирование шероховатости поверхности. Представлены результаты экспериментальных исследований вибрационного точения стали 12Х18Н10Т. Представлена аппроксимирующая функция, описывающая влияние параметров вибрационного точения на шероховатость поверхности.*

Ключевые слова: вибрационное резание; вибрационная скорость; амплитуда колебаний; частота колебаний; шероховатость поверхности.

INFLUENCE OF VIBRATION SPEED ON SURFACE ROUGHNESS IN VIBRATION TURNING

Vladimirov A.A., Kudinov E.A., Gaevoy A.P., Kachanovsky A.R.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

***Abstract.** The article is devoted to the study of the influence of vibration speed on the formation of surface roughness. The results of experimental studies of vibration turning of 12Cr18Ni10Ti steel are presented. An approximating function describing the influence of vibration turning parameters on surface roughness is presented.*

Keywords: vibration cutting; vibration speed; vibration amplitude; vibration frequency; surface roughness.

Применение вибрационного резания для обработки труднообрабатываемых материалов обеспечивает повышение периода стойкости инструмента и надежное стружкодробление. Поэтому исследование состояния поверхностного слоя и параметров шероховатости становится актуальной задачей. При сравнении шероховатостей, полученных при традиционном и вибрационном резании, обеспечивающем одновременное вибрационное воздействие на тангенциальную и нормальную составляющую сил резания [1-2]

установлено, что при режимах, обеспечивающих существенное повышение периода стойкости инструмента, высота микронеровностей находится в интервале $Ra = 12,5 - 6,3$ мкм. Кроме того, при вибрационном резании на обработанной поверхности с ростом амплитуды колебаний возникает волнистость в продольном сечении. Особенно четко она начинает проявляться при амплитудах колебаний, при которых наблюдался максимальный период стойкости резца, при этом виброточение любой интенсивности колебаний обеспечивает дробление стружки на отрезки длиной не более 10 мм.

В работах [3-4] авторами было установлено, что наибольший период стойкости $T = 68$ мин, наблюдается при скорости резания $V = 80$ м/мин, амплитуде колебаний $A = 70$ мкм и частоте колебаний вершины режущего инструмента $f = 100$ Гц. Режущим инструментом являлся резец, оснащенный пластиной из твердого сплава Т5К10.

На основании полученных данных авторами были установлены доминирующие факторы и интервалы варьирования, оказывающие влияние на период стойкости инструмента. На основании полного факторного эксперимента было получено уравнение регрессии и проведена оптимизация модели движением по градиенту по методу Бокса-Уилсона.

Основываясь на результатах оптимизации модели была проведена серия экспериментов для исследования параметров шероховатости при максимальном периоде стойкости инструмента на скорости резания $V = 85$ м/мин в зоне низких частот колебаний, до 25 Гц.

Целью эксперимента было установление изменения величины амплитуды колебаний при разных частотах на характер изменения шероховатости. Эксперименты проводились на образцах из стали 12Х18Н10Т при скорости резания 85 м/мин, подаче 0,26 мм/об материал режущей пластины твердый сплав марки IC907 Израильской фирмы ISCAR.

Зависимость параметра шероховатости обработанной поверхности, от амплитуды колебаний для трех значений частот представлены на графике (рис. 1).

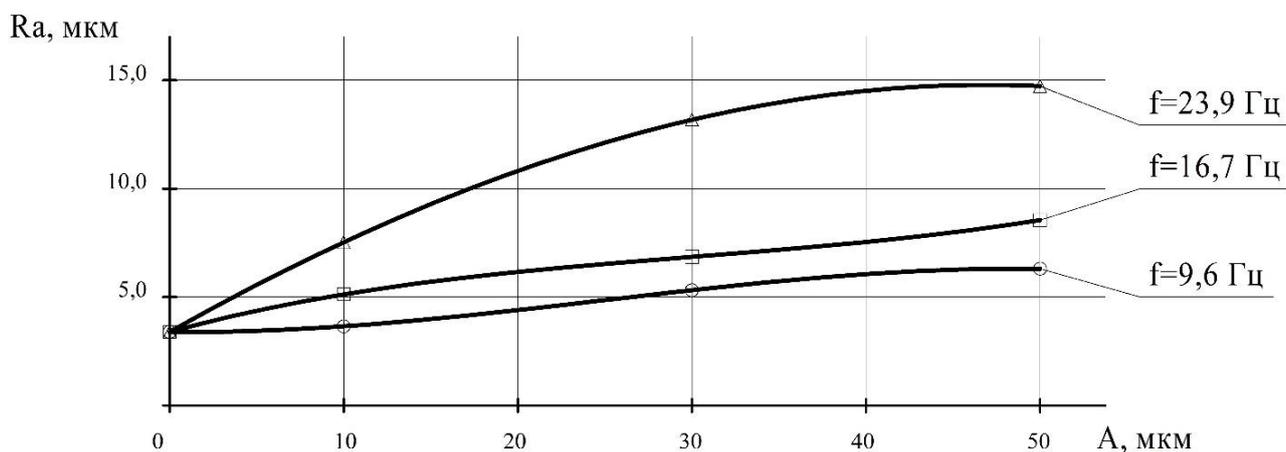


Рис. 1 – Зависимость шероховатости (R_a , мкм) обработанной поверхности от амплитуды (A , мкм) и частоты (f , Гц) колебаний при чистовом вибрационном точении

Анализ кривых, изображенных на графике (рис. 1), показал, что при частотах колебаний 9,6 Гц и 16,7 Гц, с постепенным увеличением амплитуды колебаний до 50 мкм наблюдается монотонное увеличение параметра шероховатости обработанной поверхности. С увеличением частоты до 23,9 Гц и амплитуды колебаний до 50 мкм наблюдается существенное увеличение параметра шероховатости в 3 – 3,5 раза. Логично предположить, что при частотах колебаний 9,6 и 16,7 Гц и дальнейшем увеличении амплитуды колебаний, до некоторого значения, не превышающего значение для максимального периода стойкости инструмента, шероховатость должна оставаться постоянной, т.е. стабилизироваться.

В результате проведенной работы была установлена зона низкочастотных колебаний для скорости резания 85 м/мин, что соответствует максимальному периоду стойкости инструмента. Было определено направление для проведения контрольных экспериментов, с целью выявить оптимальную зону амплитуд и частот колебаний, с максимальным периодом стойкости инструмента и низким параметром шероховатости обработанной поверхности.

Обращая внимание на характер кривых, изображенных на рис. 1, правомерно предположить, что зависимость шероховатости поверхности от виброскорости описывается полиномом второй степени. Исходные данные и расчетные значения по уравнению кривой представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные и расчетные значения

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{\text{вibr}}$	0,000	0,036	0,063	0,090	0,108	0,180	0,189	0,270	0,315	0,451
R_a ($Y_{\text{эксп}}$)	3,393	3,652	5,126	7,532	5,318	6,308	6,856	13,185	8,551	14,735

Ra (Y _{расч})	3,393	4,386	5,115	5,829	6,298	8,109	8,328	10,231	11,234	14,025
ΔRa	0,000	0,734	0,011	1,703	0,980	1,801	1,472	2,954	2,683	0,710
S _{ΔRa} ²	0,000	0,539	0,000	2,900	0,960	3,242	2,166	8,726	7,196	0,504

Используя полученные экспериментальные значения шероховатости и виброскорости методом полинома нашли аппроксимирующую функцию:

$$Y = Ra = 3,393 + 27,940V - 9,681V^2 \quad (1)$$

Расчетные значения функции и доверительный интервал представлены на рис. 2.

Оценка адекватности аппроксимирующей функции по критерию Стьюдента показала, что все экспериментальные значения входят в зону доверительного интервала.

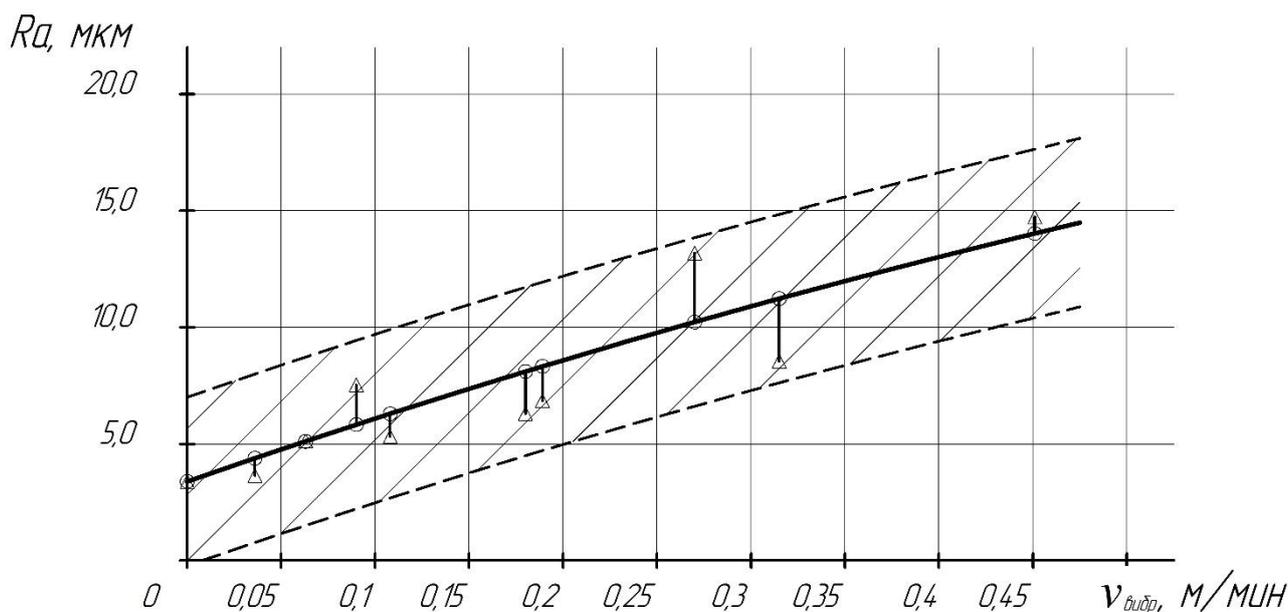


Рис. 2 – Зависимость шероховатости (Ra, мкм) обработанной поверхности от виброскорости (V_{вибр}, м/мин) при чистовом вибрационном точении: Δ – экспериментальные значения; ○ – расчетные значения

Таким образом, полученная модель процесса формирования шероховатости поверхности при виброрезании, позволит провести дальнейшие исследования по оптимизации функции отклика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Патент № 2675440 С1 Российская Федерация, МПК В23В 25/00. устройство для вибрационного резания: № 2017143973: заявл. 14.12.2017: опубл. 19.12.2018 / А.П. Сергиев, А.А. Владимиров, Е.Г. Швачкин.
2. Сергиев А.П., Владимиров А.А., Швачкин Е.Г. Определение направлений исследования вибрационного резания // Технические науки – от теории к практике / Сб. ст. по материалам XLVIII-XLIX междунар. науч.-практ. конф. № 7-8 (44). Новосибирск: Изд. «СибАК», 2015. С. 47-53.
3. Владимиров, А.А. Исследование влияния амплитудно-частотных параметров колебаний на обобщенную функцию вибрационного воздействия / А.А. Владимиров, А.П. Сергиев // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: Сборник материалов Пятнадцатой Всероссийской научно-практической конференции, Старый Оскол, 21–23 ноября 2018 года. – Старый Оскол: Старооскольский технологический институт (филиал) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 2018. – С. 241-246.
4. Владимиров, А.А. Экспериментальное исследование чистового вибрационного течения труднообрабатываемых материалов / А.А. Владимиров, А.В. Макаров, Н.В. Подкопаев // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Старый Оскол, 09–10 декабря 2019 года. Том I. – Старый Оскол: Старооскольский технологический институт (филиал) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 2019. – С. 220-227.

ОБЗОР УСТАНОВОК ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

Владимиров А.А., Шаповалов А.И., Титова А.П., Панина А.И.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
vladimirov.al.an@yandex.ru, shapovalow130477@yandex.ru, anneta_oskol@mail.ru, tomm_sti_misis@mail.ru

***Аннотация.** Статья посвящена обзору литературных источников по установкам для испытаний на абразивный износ. Представлены распространенные конструкции установок. Описаны преимущества и недостатки существующих схем испытаний и конструкций установок. Сформулированы направления дальнейших исследований.*

Ключевые слова: износостойкость; износ; испытания материалов; трение; абразивные частицы; свободный абразив; абразивная лента.

OVERVIEW OF MATERIAL WEAR RESISTANCE TESTING SETUP

Vladimirov A.A., Shapovalov A.I., Titova A.P., Panina A.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

***Abstract.** The article is devoted to the review of literary sources on abrasive wear test setups. Common setup designs are presented. The advantages and disadvantages of existing test schemes and setup designs are described. Directions for further research are formulated.*

Keywords: wear resistance; wear; material testing; friction; abrasive particles; loose abrasive; abrasive belt.

Определение износостойкости материалов в условиях лаборатории является одним из важных этапов исследования. Необходимо объективно оценить износостойкость наносимых покрытий при упрочнении деталей почвообрабатывающих машин.

Для этих целей разработан ГОСТ 23.208-79 (Метод испытания материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы). В соответствии с ГОСТ используется установка ИМ–01 конструкции ВИСХОМ. Образец с износостойким покрытием зажимается в держателе установки, абразивные частицы (кварцевый песок, корунд) подаются в зону контакта, внедряясь во вращающийся резиновый ролик, и изнашивают образец.

Существует также методика испытаний Бринелля–Ховарта, сущность которой заключается в том, что между вращающимся диском (резиновым или металлическим) и испытываемым образцом подается песок (0,2–0,6 мкм). При этом диск прижимается к образцу и абразив, попадая в зазор, изнашивает испытываемый образец.

Распространение получил метод испытаний на изнашивание о закрепленный абразив, особенно к деталям, работающим в абразивной среде при низких температурах. Кроме того, в ряде научных исследований установлен сходный порядок расположения кривых износостойкости для материалов, испытанных о закрепленный абразив, и деталей машин при низких температурах. В качестве базовой в данной работе принята методика испытаний с применением установки типа УАМ (универсальная абразивная машина). На этой установке представляется возможным проводить испытания на изнашивание при трении и ударе о шлифовальную шкурку при температуре до минус 70 °С. Метод позволяет учитывать не только неоднородность шлифовальной шкурки, но и изменение ее изнашивающей способности при низких температурах.

Из зарубежных методик наиболее известны работы, в которых используются методы с применением резинового или металлического диска и сыпучего абразива, и закрепленных абразивов по типу вращающегося барабана с шлифовальной шкуркой и постепенным перемещением образца по барабану для гарантированного контакта со свежим абразивом.

Исследования показали, что методика позволяет получить достаточно точную сравнительную оценку относительной износостойкости материалов с воспроизведением на них близких к почвенным условиям изнашивания. При этом время, затрачиваемое на испытания, сокращается более чем на порядок по сравнению со стандартным полевым испытанием. Однако, обладая большой производительностью, первые два способа имеют существенные недостатки.

В процессе испытаний использование сыпучего абразивного материала создает практические сложности в обеспечении равномерности его распределения по поверхности зоны контакта и стабильности подачи абразивного материала во время проводимого эксперимента, что существенно влияет на стабильность результатов при повторении эксперимента. Конструктивные особенности не позволяют существенно увеличить нагрузки для обеспечения ускоренного износа из-за возникновения наклепа в зоне контакта, что значительно увеличивает время проведения эксперимента (обычно более 30 мин).

Кроме того, перед проведением испытания все образцы требуют предварительного шлифования, так как используемые диски из резины и металла не выдерживают нагрузки при неоднородной поверхности и шероховатости, что в том числе влияет на стабильность результатов испытаний.

Изнашивание изучаемого материала происходит вследствие воздействия абразива, находящегося между образцом и диском контртела 4 (рис. 1). В процессе опыта абразив 2 из бункера 3 непрерывно подается к месту контакта образца и диска. Износ определяется методом лунок по ГОСТ 23.301-78.

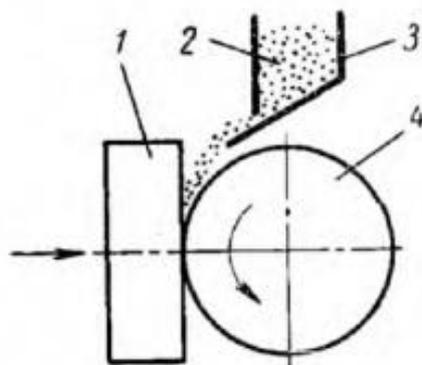


Рис. 1 – Принципиальная схема испытаний по методу изнашивания абразивной прослойкой:

1 – образец, 2 – абразивный материал, 3 – бункер, 4 – диск контртела

На основе способа разработан ГОСТ 23.208-79 «Метод испытания материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы» (рис. 2).

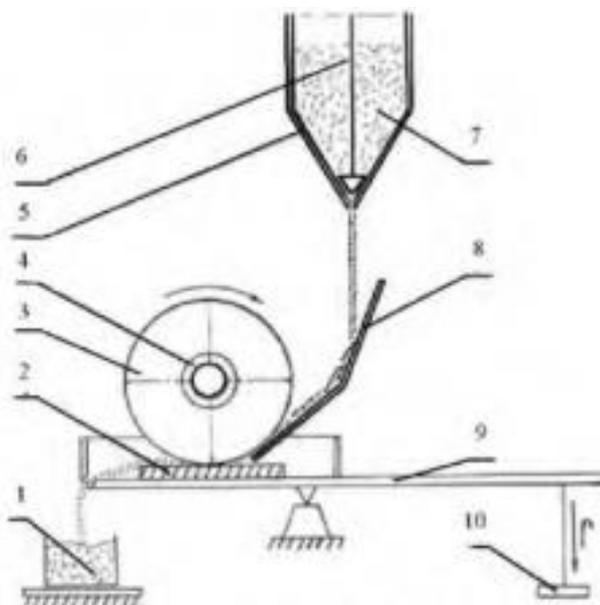


Рис. 2 – Схема установки по ГОСТ 23.208-79: 1 – бункер для абразива, 2 – образец, 3 – вращающийся ролик, 4 – втулка для ролика, 5 – бункер для свободного абразива, 6 – рычаг для регулирования скорости подачи, 7 – свободный абразив, 8 – лоток для подачи абразива, 9 – рычаг для регулирования усилий, 10 – нагружение рычага силой.

Сущность которого заключается в том, что образцы из исследуемого и эталонного материалов изнашиваются абразивными частицами, подаваемыми в зону трения и прижимаемыми к образцу вращающимся резиновым роликом. Оценка износов в данном случае носит сравнительный характер.

На основании приведенных параметров из стандартов и ГОСТ была спроектирована и изготовлена установка для проведения практических экспериментов. Схема установки представлена на рис. 3.

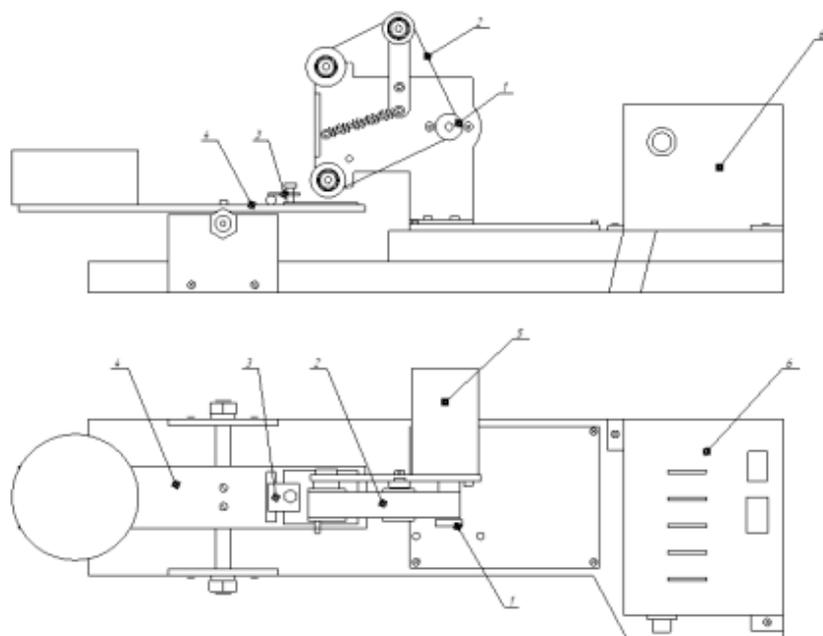


Рис. 3 – Схема спроектированной установки: 1 – ротор с осью; 2 – абразивная лента; 3 – держатель образца; 4 – рычаг; 5 – электродвигатель; 6 – блок управления

Устройство для испытания образцов содержит ротор 1, который смонтирован на валу электродвигателя 5, механизма для крепления и перемещения абразивной ленты 2, держателя для закрепления образца 3, рычага с размещенным грузом 4, электродвигателя 5 с регулятором числа оборотов 6. В качестве образцов используются плоские заготовки размером 60×40 толщиной 3 мм. Испытуемый образец зажимается винтом в держателе и под действием веса груза прижимается к вращающейся абразивной ленте.

Соотношение величины износа упрочненного образца к величине износа неупрочненного определяет относительный износ упрочненного образца.

Устройство проверено в работе на различных износостойких покрытиях. Были использованы абразивные ленты различной зернистости. Результаты испытаний подтверждают стабильность изнашивания покрытий различной поверхностной твердости. Выполнены сравнительные испытания покрытия, полученного скоростным борированием.

В результате проведенного обзора литературных источников были изучены различные конструкции установок для испытаний материалов на стойкость к абразивному износу. Оценены их преимущества и недостатки для исследования различных материалов. В рамках дальнейших исследований установок для испытаний на абразивный износ необходимо сформулировать концепцию установки, учитывающую недостатки указанные в текущем обзоре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Исследование стойкости к абразивному изнашиванию эластомерных покрытий и покрытий, сформированных электродуговой наплавкой / А.И. Шаповалов, А.В. Макаров, А.А. Владимиров [и др.] // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: Материалы девятнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Старый Оскол, 07 декабря 2022 года. – Старый Оскол: Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", 2023. – С. 337-342.
2. Устройство для ускоренных испытаний металлопокрытий на износостойкость / В.П. Лялякин, В.Ф. Аулов, Ю.Н. Рожков [и др.] // Информационные технологии, системы и приборы в АПК. АГРОИНФО-2021: Материалы 8-й Международной научно-практической конференции, р.п. Краснообск, 21–22 октября 2021 года / под ред. В.В. Альта. – Новосибирск - Краснообск: Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, 2021. – С. 187-191. – DOI 10.26898/agroinfo-2021-187-191.
3. Рожков, Ю.Н. Методика для ускоренных испытаний образцов на износостойкость / Ю.Н. Рожков, В.Ф. Аулов, В.И. Иванов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2021. – Т. 87, № 10. – С. 63-67. – DOI 10.26896/1028-6861-2021-87-10-63-67.
4. Экспериментальные исследования износостойкости образцов из стали 65Г и с покрытием скоростным ТВЧ-борированием / В.Ф. Аулов, Ю.Н. Рожков, А.В. Ишков [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. – 2018. – Т. 9, № 2-2. – С. 507-511. – DOI 10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.1.507-511.
5. Козарез, И.В. Метод испытаний на изнашивание при подаче абразивной компоненты в зону трения, применительно к деталям почвообрабатывающих машин / И.В. Козарез, Я.Ю. Климова, М.А. Михальченкова // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 2. – С. 49-52.
6. Устройство для ускоренных испытаний образцов на износостойкость: патент 186486 (RU) / Аулов В.Ф., Иванов В.И., опубл. 2.01.2019. Бюл. N3.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Владимиров А.А., Гаевой А.П., Косилов С.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
vladimirov.al.an@yandex.ru, a_gaevoy@list.ru, tomm_sti_misis@mail.ru*

***Аннотация.** Статья посвящена исследованию износостойкости электроискровых покрытий. Представлены марки электродных материалов и режимы электроискрового легирования. Представлены результаты испытаний сформированных покрытий на износостойкость. Представлены профили дорожек износа сформированных покрытий.*

Ключевые слова: электроискровое легирование; синтетический твердый инструментальный материал; электрод; коэффициент трения; износ; износостойкость.

RESEARCH OF WEAR RESISTANCE OF ELECTROSPARK COATINGS

Vladimirov A.A., Gaevoy A.P., Kosilov S.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

***Abstract.** The article is devoted to the study of wear resistance of electrospark coatings. The grades of electrode materials and electrospark alloying modes are presented. The results of testing the formed coatings for wear resistance are presented. The wear track profiles of the formed coatings are presented.*

Keywords: electric spark alloying; synthetic hard tool material; electrode; friction coefficient; wear; wear resistance.

Объектом исследования являются покрытия из безвольфрамовых твердых сплавов, нанесенные на рабочие поверхности деталей – крышки и фланца – методом электроискрового легирования. Необходимо повысить стойкость к абразивному износу твердосплавных покрытий, полученных данным методом.

В процессе работы проводились экспериментальные исследования электроискровых покрытий из твердых сплавов, полученных на различных режимах легирования.

В результате исследования была установлена эффективность применения метода электроискрового легирования для повышения эксплуатационных характеристик рабочих поверхностей деталей: крышки и фланца.

Технология электроискрового легирования ранее применялась для упрочнения калибров прокатных валков СПЦ № 2 АО «Оскольский электрометаллургический комбинат». Для увеличения стойкости крышки из черного чугуна марки СЧ20 и фланца, изготовленных из стали 40ХН, методом электроискрового легирования было решено использовать синтетический твердый инструментальный материал СТИМ-11, изготовленный по технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

Одним из самых современных методов, которые все чаще используются в ремонтной практике, представляют собой методы, основанные на явлении электрической эрозии металлов, когда между ними проходят электрические разряды. Через электроды во время электроискрового разряда проходит мощный импульс тока, движущийся с огромной скоростью поток электронов приводит к нагреву поверхности анода и межэлектродного промежутка до 10000-11000 °С, плавлению металла анода и в отдельных случаях его переход в газообразное состояние, которое вызывает локальные взрывы.

Электроискровое наращивание и упрочнение легированием является перспективным и простым в ремонтном производстве крупных металлических деталей. В случае электроискрового метода наращивания и упрочнения легированием используется явление электрической эрозии (разрушения) и переноса металла инструментом (анодом) на деталь (катод) при прохождении электрических разрядов в газовой среде.

Электроискровая обработка – это легирование поверхностного слоя металла детали материалом электродом-инструментом. В результате высоких температур происходят химические реакции легирующего металла с диссоциированным атомарным азотом и углеродом воздуха, а также с материалом детали в поверхностных слоях, закалочных структурах и сложных химических соединениях (высокодисперсные нитриды, карбонитриды, карбидов), образуется износостойкий упрочненный слой.

Возможность использования процесса поверхностного упрочнения (легирования) в ремонтном производстве определяли путем проведения опытов на установке «ALIER-METAL G53».

В качестве легирующего материала электрода использовали твердосплавные материалы марок СТИМ-11 и СТИМ-40 (СТИМ – синтетический твердый инструментальный материал). Состав электродных материалов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав электродных материалов

Электродный материал	Расчетный состав	Состав шихты, % (масс.)					
		Титан	Бор (В)	Углерод	Никель (Ni)	Алюминий	Оксид циркония

		(Ti)		(C)		(Al)	(ZrO ₂)
СТИМ-11	TiB- NiAl+ ZrO ₂ ^{нано}	37,48	16,84	-	24,81	11,41	9,46
СТИМ-40	TiC- NiAl+ ZrO ₂ ^{нано}	43,26	-	10,81	24,69	11,36	9,88

Электроискровое легирование проводили на пяти образцах на двух режимах: 3 и 5 (таблица 2).

Таблица 2 – Образцы и их режимы легирования на установке «ALIER-METAL G53»

Номер образца	Режим	Применяемый электрод
№ 1	без обработки	
№ 2	3	СТИМ-11
№ 3		СТИМ-40
№ 4	5	СТИМ-11
№ 5		СТИМ-40

При электроискровом упрочнении поверхности рекомендуется как можно реже отрывать упрочняющий электрод от поверхности и прерывать его плавное перемещение вдоль этой поверхности. Если упрочняющий электрод будет отведен от поверхности на некоторое расстояние, а затем вновь приближен к ней, это может вызывать значительную эрозию обрабатываемой поверхности или даже прижог ее.

Шероховатость и сплошность наносимого слоя зависят от степени шероховатости исходной поверхности. Чем ниже шероховатость, тем выше качество поверхности с нанесенным (упрочненным) слоем.

Испытания проводились по схеме «стержень – диск» (рис. 1) на автоматизированной высокотемпературной машине трения TRIBOMETER, CSM Instr. Непосредственно в процессе испытаний определяют коэффициент трения трущейся пары. Основной информацией о механизме разрушения служит анализ строения бороздки износа (на образце) и пятна износа (на контртеле – шарике). Комплексное исследование включает непрерывную запись значений коэффициента трения при испытании по схеме «неподвижный шарик – вращающийся диск», а так же фрактографическое исследование, в том числе измерения профиля бороздки и пятна износа, по результатам которого проводят расчет износа образца и контртела.

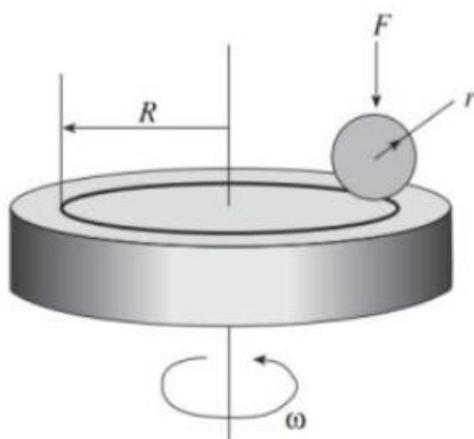


Рис. 1 – Схема испытаний на установке TRIBOMETER

Потерю объема количественно при изнашивании проводят по следующим формулам:

1) потеря объема образца (мм^3):

$$\Delta V_{\text{обр}} = S \cdot l, \quad (1)$$

где S – площадь сечения бороздки износа, мм^2 ,

l – длина бороздки, мм.

2) потеря объема контртела (мм^3):

$$\Delta V_{\text{обр}} = \pi \cdot h^2 \left(r - \frac{1}{3}h \right), \quad (2)$$

$$h = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2}, \quad (3)$$

где d – диаметр пятна износа, мм,

r – радиус шарика, мм,

h – высота стесанного сегмента, мм.

Величина износа поверхности образцов измерялась микроскопом МБС-10. В качестве предельного износа была принята величина в 0,15 мм.

Во время испытания измерялся коэффициент трения. После испытания на образце замерялся объем бороздки износа на образце (рис. 2) и пятна износа на контртеле – шарике.

Результаты испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний

Номер образца	Коэффициент трения	Износ шарика, $\text{мм}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$	Износ образца, мм^3
№ 1 (без ЭИЛ)	0,6	$1,92 \cdot 10^{-4}$	$118 \cdot 10^{-4}$
№ 2 (режим 3, СТИМ-11)	0,62	$2,02 \cdot 10^{-4}$	$96 \cdot 10^{-4}$
№ 3 (режим 3, СТИМ-40)	0,65	$2,16 \cdot 10^{-4}$	$87 \cdot 10^{-4}$
№ 4 (режим 5, СТИМ-11)	0,62	$2,14 \cdot 10^{-4}$	$94 \cdot 10^{-4}$
№ 5 (режим 5, СТИМ-40)	0,67	$2,24 \cdot 10^{-4}$	$60 \cdot 10^{-4}$

Из полученных зависимостей видно, что электроискровое легирование повышает коэффициент трения (рис. 3). Так же очевидно, что увеличивается износостойкость образцов. Больше увеличение износостойкости произошло у образцов с электроискровым легированием электродами СТИМ-40.

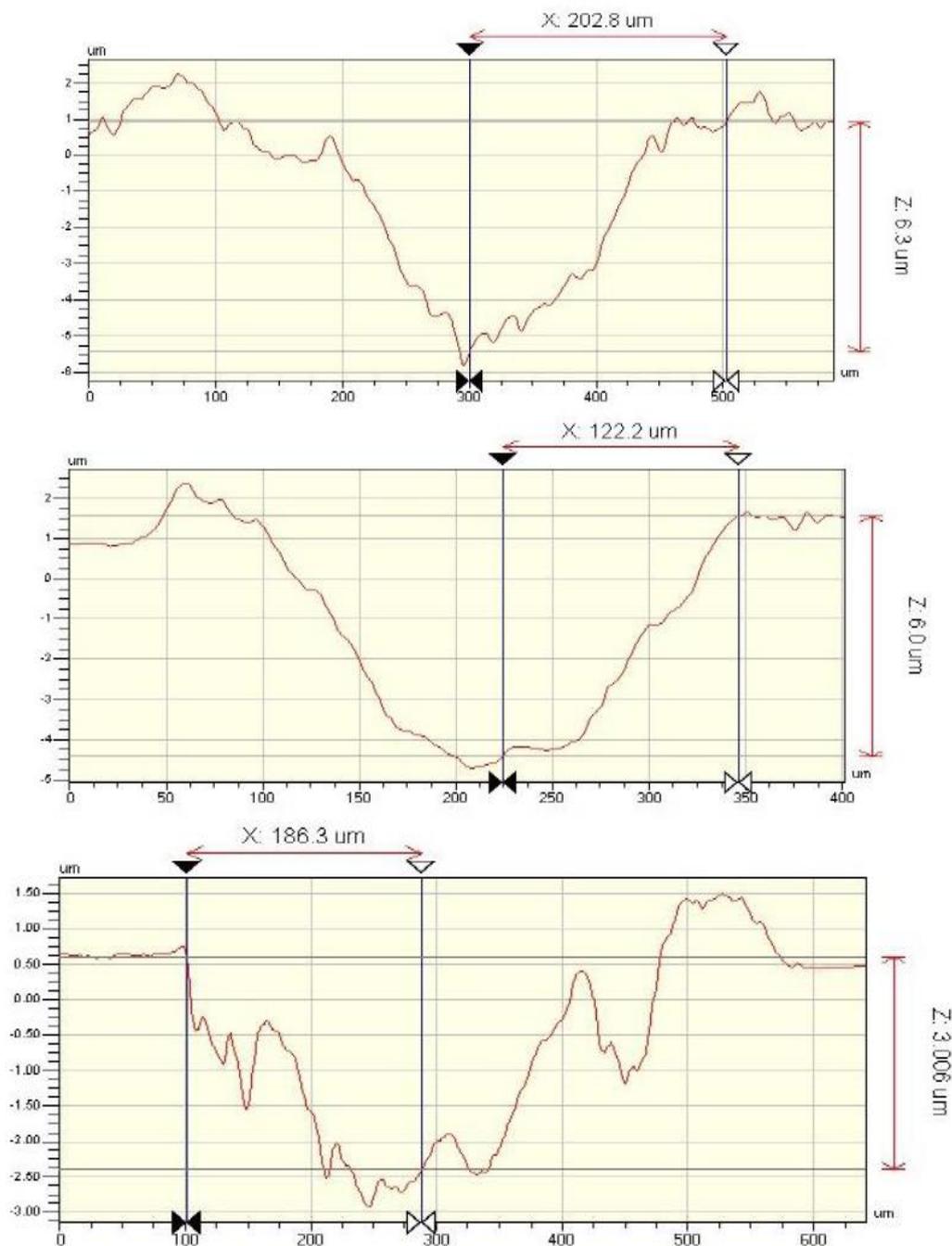


Рис. 2 – Профили бороздок износа на образцах

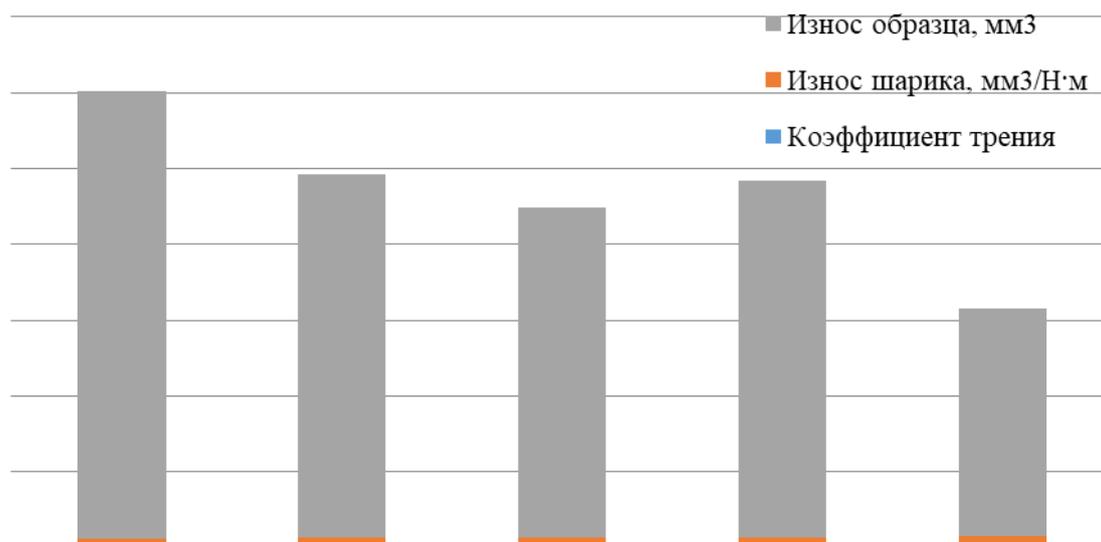


Рис. 3 – Результаты испытаний

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что износостойкость образцов, подверженных электроискровому легированию, примерно в 2 раза выше, чем у образца без ЭИЛ.

СПИСОК ЛИТРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н. И. Электроискровая обработка токопроводящих материалов. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 184 с.
2. Кудряшов А.Е., Доронин О.Н., Замулаева Е.И., Левашов Е.А., Швындина Н.В. Перспективы применения электродных СВС-материалов и технологии электроискрового легирования для упрочнения прокатных валков // Черные металлы. – 2013. – № 10. – С. 61-68.
3. Кудряшов А.Е., Замулаева Е.И., Левашов Е.А., Манакова О.С., Петржик М.И. Применение технологии электроискрового легирования и модифицированных СВС-электродных материалов для повышения стойкости прокатных валков стана горячей прокатки. Часть 1. Особенности формирования покрытий на подложках из белого чугуна СПХН-60. Электронная обработка материалов – 2018 – 54(5) – С.43-55.
4. Кудряшов А.Е., Замулаева Е.И., Левашов Е.А., Кирюханцев-Корнеев Ф.В., Швейко А.Н., Швындина Н.В. Применение технологии электроискрового легирования и модифицированных СВС-электродных материалов для повышения стойкости прокатных валков стана горячей прокатки. Часть 2. Структура и свойства сформированных покрытий. Электронная обработка материалов – 2019 – 55(2) – С. 10-22.

5. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревуцкий В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 196 с.
6. Ким, В.А. Интенсификация эрозионного процесса при электроискровом легировании стальных поверхностей / В.А. Ким, Д.Н. Коротаяев // Технология металлов. – 2010. – № 10. – С. 35-40.
7. Коротаяев Д.Н., Иванова Е.В., Худякова О.Д. Управление качеством формирования износостойких поверхностных слоев методом электроискрового легирования. Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2015. №5 (218). С. 34-37.

ОБЗОР МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НАРУЖНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Владимиров А.А., Гуртовой С.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
vladimirov.al.an@yandex.ru, gurtovoy-s-n@yandex.ru*

***Аннотация.** Статья посвящена обзору основных видов износа цилиндрических поверхностей валов, осей и других деталей, входящих в технологическое оборудование. Рассмотрены основные методы восстановления поверхностей, а также способы поверхностного упрочнения.*

Ключевые слова: фреттинг-коррозия; износ цилиндрических поверхностей; адгезионный износ; абразивный износ; термическая закалка; химико-термическая обработка; плазменное напыление; электронно-лучевая обработка; электроискровое легирование.

REVIEW OF METHODS OF RESTORATION AND SURFACE HARDENING OF EXTERNAL CYLINDRICAL SURFACES

Vladimirov A.A., Gurtovoy S.N.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

***Abstract.** The article is devoted to an overview of the main types of wear of cylindrical surfaces of shafts, axles and other parts included in technological equipment. The main methods of surface restoration, as well as methods of surface hardening, are considered.*

Keywords: fretting corrosion; wear of cylindrical surfaces; adhesive wear; abrasive wear; thermal hardening; chemical heat treatment; plasma spraying; electron beam treatment; electric spark alloying.

В настоящее время высокими темпами развивается обогащение руд черных и цветных металлов. Обоганительные фабрики оснащаются все более совершенными машинами и аппаратами. Устойчивая работа обоганительных фабрик зависит от состояния, эксплуатации, конструкции узлов и высокой износостойкости деталей технологического оборудования.

В процессе работы деталей и узлов технологического оборудования, в частности, приводных валов происходит износ рабочих наружных цилиндрических поверхностей,

таких, как посадочные поверхности опорных подшипников, поверхности скольжения юбок уплотнительных манжет, посадочных поверхностей соединительных муфт.

В процессе ремонта оборудования при изготовлении новых деталей возникает вопрос поверхностного упрочнения цилиндрических поверхностей для увеличения износостойкости. Также важен процесс восстановления рабочих поверхностей валов при невозможности или нецелесообразности приобретения новых.

В практике эксплуатации как отечественной, так и зарубежной техники одним из наиболее часто встречаемых дефектов деталей является фреттинг-коррозия. На участках поверхностей, поврежденных фреттинг-коррозией, возникает схватывание, абразивное разрушение, усталостные процессы, сопровождающиеся окислением, которые разрушают поверхность детали. На рисунке 1 показана коррозия подшипниковой шейки вала эксцентрикового щековой дробилки: а – фреттинг-коррозия, б – атмосферная коррозия. Во время эксплуатации детали перемещаются друг относительно друга с амплитудой до 0,025 мкм, в результате чего ослабляется неподвижная посадка обойм подшипников качения на шейке вала [1, 2].

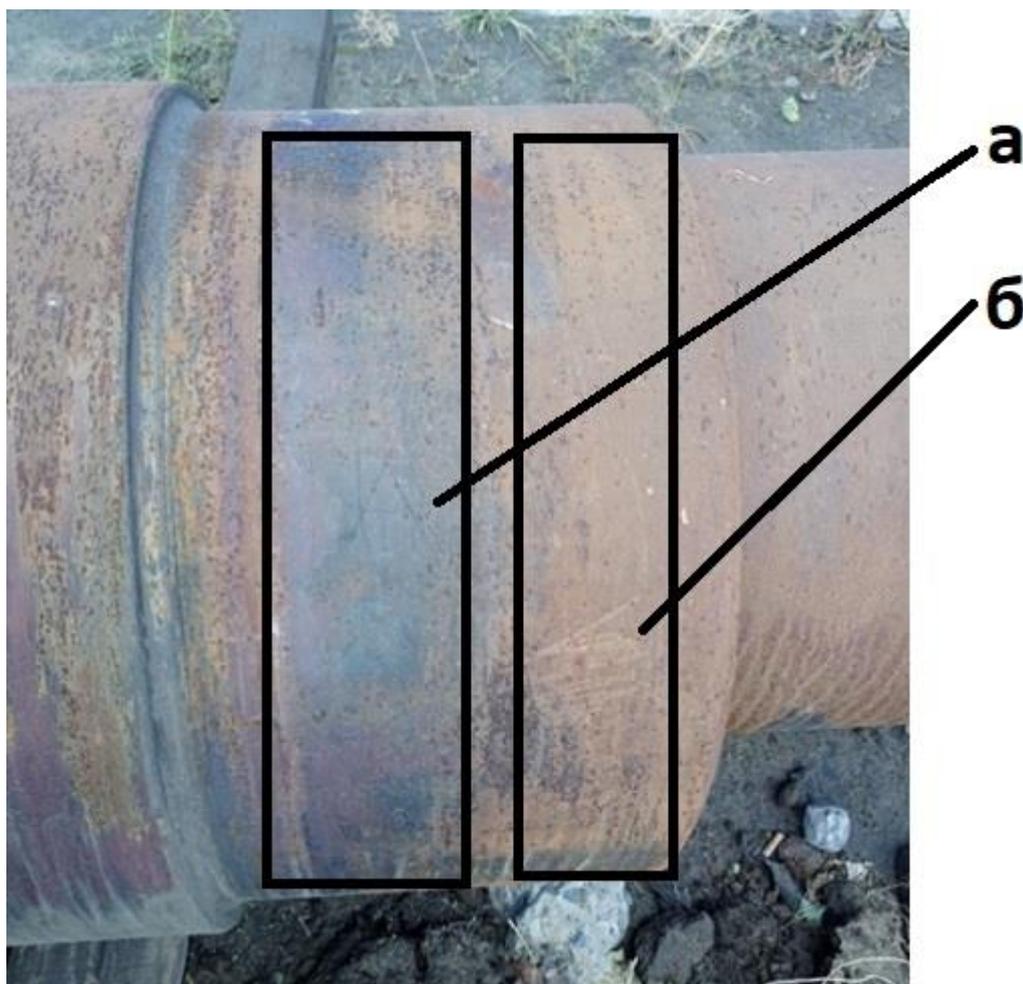


Рис. 1 – Фото коррозии подшипниковой шейки вала эксцентрикового щековой дробилки:
а – фреттинг-коррозия; б – атмосферная коррозия

Это приводит к увеличению зазоров и нарушению пятна контакта, росту удельных нагрузок, перегреву узлов трения, усталостному выкрашиванию твердых структур, заклиниванию механизмов. Как показывает практика ремонтного производства и эксплуатирующих предприятий [3], из-за износа посадочных мест подшипников, муфт становится невозможной дальнейшая эксплуатация дорогостоящих, влияющих на ресурс технологического оборудования деталей: валов, осей, корпусов [4].

При продолжительном трении, сопровождающемся пластическими деформациями, контактирующих поверхностей происходит адгезионный износ.



Рис. 2 – Фото адгезионного износа поверхности качения роликов подшипника 30206

Абразивный износ заключается в разрушении поверхностного слоя детали в ходе контакта с твердыми частицами различной природы. Такой вид износа также характерен для механизмов, работающих в условиях повышенной запыленности при эксплуатации горного оборудования. [5].



Рис. 3 – Фото абразивного износа оси поворота ковша экскаватора

При производстве новых деталей или восстановлении уже поработавших, поверхности, испытывающие максимальные напряжения на поверхности (изгиб, контактные напряжения), для повышения сопротивления усталости подвергают поверхностному упрочнению [6].

Существуют следующие методы поверхностного упрочнения:

- технология упрочнения сканирующей сжатой электрической дугой - такой вид упрочнения не дает высоких результатов из-за маленькой глубины и повышенной хрупкости получаемых слоев [7].

- термическая закалка получила достаточно широкое распространение, но этот способ технологически сложен в связи с большой длительностью нагрева валов большой массы, а также необходимостью специальных исследований для определения режимов закалки и отпуска валов, содержащих легирующие элементы [8]. Для предотвращения образования трещин необходимо обеспечить равномерный прогрев детали, исключить резкие переходы диаметров и острые углы [9].

- химико-термическая обработка [10-12] позволяет повысить стойкость, микротвердость, химическую стойкость. Однако, глубина модифицированных слоев мала, а градиент твердости по толщине слоя очень велик, сам технологический процесс токсичен, трудоемок и энергозатратен.

- плазменное напыление предъявляет высокие требования к подготовке поверхности, существует риск образования трещин или пористости, если процесс не контролируется должным образом [13-17]. В ряде случаев деталь может испытывать значительный нагрев, приводящий к термическим деформациям [18-20].

- электронно-лучевая обработка характеризуется высокой стоимостью оборудования и необходимостью глубокого вакуума, а также высокоинтенсивным рентгеновским излучением [21].

Электроискровой метод нанесения покрытий или электроискровое легирование (ЭИЛ) эффективно применяется для восстановления и упрочнения рабочих поверхностей деталей твердыми сплавами. С помощью указанного метода получают твердое износостойкое покрытие, обладающее хорошей связью с основным материалом [22-24].



Рис. 4 – Фото технологического процесса нанесения покрытия на детали типа «вал»

Необходимость финишной механической обработки нанесенных покрытий обусловлена требованиями к шероховатости поверхности, указанной в конструкторской документации.

В процессе ЭИЛ полностью исключается коробление деталей, что обусловлено отсутствием значительного теплового влияния на деталь в процессе обработки, что исключает тепловую остаточную деформацию, а значит, может применяться на заключительных этапах технологических процессов изготовления деталей.

В результате проведенного обзора литературных источников по вопросам восстановления и упрочнения цилиндрических поверхностей выявлено, что использование метода электроискрового легирования в технологических процессах является перспективным для поверхностного локального упрочнения крупногабаритных деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Голего Н.Л., Алябьев А.Л., Шевеля В.В. Фреттинг-коррозия металлов. – К.: Техніка, 1974. - 270 с.
2. Уотерхауз Р.Б. Фреттинг-коррозия. - Л.: Машиностроение, 1976. - 270 с.
3. Иванов, В.И. Восстановление деталей импортных двигателей во втором автобусном парке Москвы / В.И. Иванов, А.Ю. Костюков, В.А. Денисов, Р.Н. Задорожний, Д.В. Донской, А.А. Назаров // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2013. - №5. – С. 3-10.
4. Поляк, М. С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения: в 2 т. / М. С. Поляк. – М.: Л. В. М. – СКРИПТ, Машиностроение, 1995. – Т.1. – 832 с.– ISBN 5-217-02810-6.
5. Носовский И. Г. О механизме схватывания металлов при трении [Текст] / И. Г. Носовский // Трение и износ. – 1993 - Т. 14, № 1 – К., 1993.
6. Чеботарев М. И. Выбор оптимального способа восстановления изношенной поверхности детали: учеб. пособие / М. И. Чеботарев, М. Р. Кадыров. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 91 с.
7. Юрьев А.Б., Мухатдинов Н.Х., Козырев Н.А. и др. Патент RU2398892 Способ поверхностного упрочнения прокатных валков. Оpubл. В Б.И. 10.09.2010.
8. Кащенко Ф.Д., Фетняева Л.А. и др. А.С. SU1731831 Способ термической обработки прокатных валков. Оpubл. В Б.И. 07.05.1992.
9. Вдовин К.Н., Гималетдинов Р.Х., Колокольцев В.М., Цыбров С.В. Прокатные валки: Монография // Магнитогорск: МГТУ, 2005, 543 с.
10. Чагтерджи - Фишер Р., Эйзелл Ф.-В. и др. Азотирование и карбонитрирование. Пер. с нем. / под ред. Супова А.В. // М.: Metallurgia, 1990, 280 с.
11. Корецкий Ян. Цементация стали. Перев. с чешского. – Л.: Судпромгиз, 1962 – 230с.
12. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.Н. Материаловедение. Учебник для ВУЗов технич. спец. – 3-е изд. // М. Машиностроение, 2006, 528с.
13. Белов Е.Г. Влияние упрочняющих обработок на структуру и свойства фасонного стального проката и чугунных валков. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // Новокузнецк, 2010.

14. Шевченко О.И. Взаимосвязь структуры, фазового состава и служебных свойств рабочего слоя валков, полученного плазменно-порошковой наплавкой сплавом Ni6Cr3. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // Екатеринбург 1993.
15. Тихвинская А.Ю. Повышение эксплуатационных свойств радиальных пар трения из высокопрочного чугуна на основе лазерной обработки. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // Волгоград 2009.
16. Корочкин А.Е., Костерев В.Б., Мясникова В.И. Природа повышения стойкости чугунных прокатных валков плазменной обработкой // XVII Международная научно-практическая конференция «Современные техника и технологии» с. 203-204.
17. Юрьев А.Б. Формирование структуры и свойств железоуглеродистых сплавов при термомеханическом и плазменном упрочнении. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. // Новокузнецк, 2007.
18. Бирюков В., Белых А. Применение мощных твердотельных лазеров для упрочнения поверхностей трения: Сборник научных трудов и инженерных разработок. // М.: ИМАШ РАН, 2007.
19. Крылов К.И., Рокалои И.Н., Ужов А.А., Кокора А.Н. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении. Лазерная обработка материалов. // Москва «Машиностроение», 1975, 296 с.
20. Лащенко Г. И. Плазменное упрочнение и напыление. - Київ: «Екотехнологія», 2003. - 64 с.
21. Рыкалин Н.Н., Зуев И.В., Углов А.А. Основы электронно-лучевой обработки материалов. // М.: Машиностроение, 1978, 239 с.
22. Гитлевич, А. Е. Электроискровое легирование металлических поверхностей [Текст] / А. Е. Гитлевич, В. В. Михайлов, Н. Я. Парканский, В. М. Ревуцкий – Кишинев: Издательство «Штиинца», 1985. – 196 с.
23. Бурумкулов, Ф.Х. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика) / Ф.Х. Бурумкулов, П.П. Лезин, П.В. Сенин, В.И. Иванов, С.А. Величко, П.А. Ионов - Саранск: Красный Октябрь. 2003. - 504 с.
24. Фельдштейн, Е. Э. Трибологические характеристики покрытий, полученных электроискровым легированием с последующим лазерным упрочнением [Текст] / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Кардаполова, Р. Гайда, Б. Хородыски, О. В. Кавальчук. // Трение и износ. – 013. – Т.34. – №2. – С. 175-180.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖЕК ТЕПЛОВЗОВ

Жулдыбин А.А., Владимиров А.А., Шаповалов А.И.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
arkad1998@mail.ru, vladimirov.al.an@yandex.ru, shapovalow130477@yandex.ru*

Аннотация. *Статья посвящена перспективам применения электроискрового легирования деталей тележек тепловозов. Описаны условия работы и образующиеся дефекты деталей палец и валик. Представлены перспективы технологии электроискрового легирования. Сформулированы направления дальнейших исследований.*

Ключевые слова: электроискровое легирование; защитная среда; шероховатость; твердость; поверхностное пластическое деформирование.

PROSPECTS FOR USING ELECTROSPARK ALLOYING TO INCREASE THE LIFETIME OF DIESEL LOCOMOTIVE BODY PARTS

Zhuldybin A.A., Vladimirov A.A., Shapovalov A.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

Abstract. *The article is devoted to the prospects of using electrospark alloying of diesel locomotive bogie parts. The operating conditions and defects of pin and roller parts are described. The prospects of electrospark alloying technology are presented. The directions of further research are formulated.*

Keywords: spark alloying; protective environment; roughness; hardness; surface plastic deformation.

Тележка тепловоза является одним из основных узлов ходовой части тепловоза. Исходя из характеристик самого тепловоза и условий его эксплуатации, целесообразно сказать, что условия работы тележек тепловозов и ее деталей можно отнести к тяжелым.

Одними из изнашиваемых элементов тележек тепловозов являются такие детали как валик и палец, представленные на рисунке 1. Конструкция тележки предусматривает установку валиков двух типоразмеров, в количестве 20 шт. и пальцев двух типоразмеров в количестве 24 шт. на тепловоз.

Валики установлены в узле рессорного подвешивания и предназначены для соединения балансиров и рессор с подвесками. В процессе эксплуатации валики подвергаются ударному воздействию, изгибающим нагрузкам и срезу. Ходимость данных деталей в среднем находится в пределах 21000 моточасов. Основными дефектами, возникающими в процессе эксплуатации являются трещины, задиры, сколы и износ поверхностного закаленного слоя.

Пальцы установлены в механизме передачи силы тяги. Механизм передачи представляет из себя рычажную систему. В конструкции пальцев по наружной поверхности предусмотрена система отверстий для смазки. В отличие от валиков, пальцы дополнительно подвергаются нагрузкам на кручение. Ходимость данных деталей также находится в пределах 21000 моточасов. Дефекты такие же как и у детали валик.

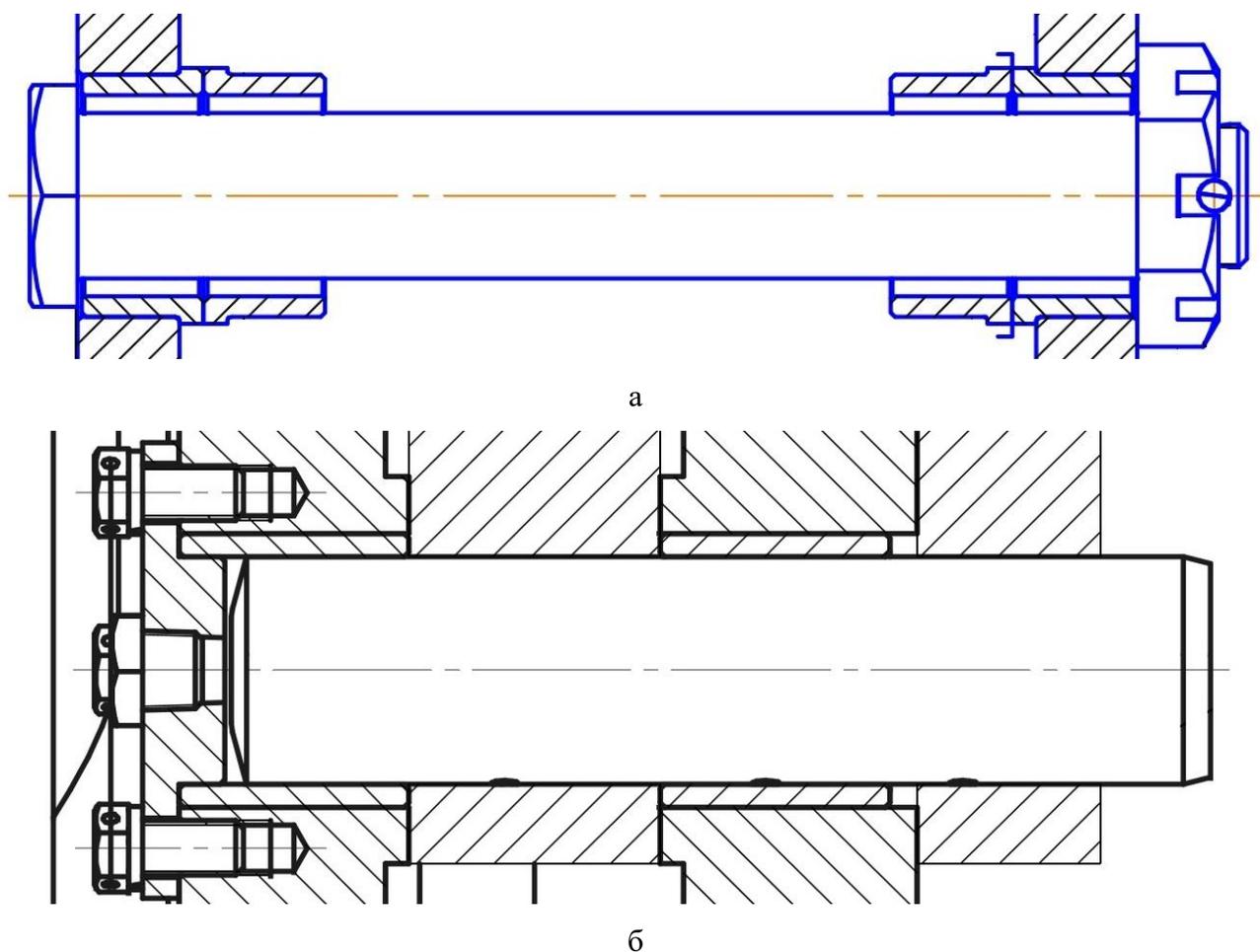


Рис. 1 – Детали тележки тепловоза: а – валик; б – палец

Обобщая условия работы деталей валик и палец, можно отметить, что одним из основных технических требований является поверхностная термическая обработка на глубину 1...2 мм в диапазоне 42...52 HRC с сохранением вязкости сердцевины.

Шероховатость рабочей поверхности при этом должна быть не более 3,2 мкм по параметру Ra.

Одним из методов повышения поверхностной прочности и износостойкости является процесс электроискрового легирования. В зависимости от применяемого электродного материала возможно формировать на поверхностях деталей покрытия, обладающие различными физико-механическими характеристиками. Электроискровое легирование имеет свои особенности при формировании покрытий, например, при повышенных требованиях к микрогеометрии рабочих поверхностей деталей, шероховатость поверхности в ряде случаев может быть недостаточной. В связи с чем, необходимо добиваться снижения шероховатости поверхностей, подвергшихся электроискровому упрочнению.

Шероховатость покрытий также во многом зависит от состава применяемых электродных материалов, частотно-энергетических режимов и времени обработки, от типа рабочего инструмента, а также исходного рельефа обрабатываемой поверхности.

Снижения шероховатости электроискровых покрытий возможно добиться проведением финишных операций – шлифования (полирования), поверхностного пластического деформирования (ППД) (выглаживания, безабразивной ультразвуковой финишной обработки (БУФО)), притирке, лазерной обработке и т.д.

Большинство из представленных методов финишной обработки не применимы для снижения шероховатости электроискровых покрытий, так как их толщины 0,01-0,05 мм меньше или сопоставимы с минимальным технологическим припуском на механическую обработку. Для уменьшения шероховатости упрочненных поверхностей будет перспективным применение поверхностного пластического деформирования выглаживанием с помощью твердосплавного индентора.

В качестве электродного материала перспективным будет применение твердых сплавов марок Т15К6 и ВК8. Дополнительным фактором обеспечения качества упрочнения поверхностного слоя перспективно применение защитной газообразной среды, что будет способствовать защите от окисления и, соответственно, формированию покрытий с высокой степенью чистоты.

Защитными средами перспективно будет применение таких газов как аргон, гелий и углекислота. Данные газы широко применяются для защиты от воздействия внешней среды в процессах сварки и наплавки.

Конфигурация рабочих поверхностей рассматриваемых деталей представляет собой простую геометрическую форму цилиндра, соответственно с целью повышения производительности процесса электроискрового легирования целесообразно механизировать данный процесс.

Таким образом, направлением дальнейших исследований по увеличению эксплуатационного ресурса деталей тележек тепловозов можно выделить следующие направления:

- разработка конструкции и изготовление специального держателя электроискрового вибровозбудителя для токарного станка с подводом защитной газообразной среды в зону легирования;

- исследование и выбор режима электроискрового легирования твердыми сплавами марок Т15К6 и ВК8, обеспечивающего необходимую толщину упрочненного слоя;

- исследование и выбор защитного газа, обеспечивающего максимальное качество формирования упрочненного слоя;

- исследование и выбор режимов поверхностного пластического деформирования, обеспечивающего достижение шероховатости легированного слоя не более 3,2 мкм по параметру Ra.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании. Владивосток: Дальнаука, 1995. – 323.

2. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревуцкий В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 196 с.

3. Коротаев Д.Н., Иванова Е.В., Худякова О.Д. Управление качеством формирования износостойких поверхностных слоев методом электроискрового легирования. Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2015. №5 (218). С. 34-37.

4. Коротаев, Д.Н. Влияние газовых сред на технологические возможности электроискрового легирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / Коротаев Дмитрий Николаевич. Благовещенск, 1998. – 203 с.: ил.

5. Кудряшов А.Е., Доронин О.Н., Замулаева Е.И., Левашов Е.А., Швындина Н.В. Перспективы применения электродных СВС-материалов и технологии электроискрового легирования для упрочнения прокатных валков // Черные металлы. – 2013. – № 10. – С. 61-68.

6. Кудряшов А.Е., Замулаева Е.И., Левашов Е.А., Кирюханцев-Корнеев Ф.В., Швейко А.Н., Швындина Н.В. Применение технологии электроискрового легирования и модифицированных СВС-электродных материалов для повышения стойкости прокатных валков стана горячей прокатки. Часть 2. Структура и свойства сформированных покрытий. Электронная обработка материалов – 2019 – 55(2) – С. 10-22.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ В ЗАЩИТНЫХ СРЕДАХ

Жулдыбин А.А., Владимиров А.А., Шаповалов А.И.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
arkad1998@mail.ru, vladimirov.al.an@yandex.ru, shapovalow130477@yandex.ru*

***Аннотация.** Статья посвящена построению плана экспериментов по исследованию электроискрового легирования в защитных средах. Представлены применяемые электродные материалы, обеспечивающие повышение износостойкости. Представлены типы защитных сред. Описаны частотно-энергетические режимы легирования.*

Ключевые слова: электроискровое легирование; защитная среда; режимы легирования; износостойкость; твердость; шероховатость.

DETERMINATION OF RESEARCH DIRECTIONS OF ELECTROSPARK ALLOYING IN PROTECTIVE ENVIRONMENTS

Zhuldybin A.A., Vladimirov A.A., Shapovalov A.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

***Abstract.** The article is devoted to the construction of an experimental plan for the study of electrospark alloying in protective environments. The applied electrode materials are presented, providing increased wear resistance. The types of protective environments are presented. The frequency-energy modes of alloying are described.*

Keywords: electric spark alloying; protective environment; alloying modes; wear resistance; hardness; roughness.

Одними из основных технических требований, предъявляемых к деталям тележек тепловозов, таких как валик и палец (рис. 1), является поверхностная термическая обработка на глубину 1...2 мм в диапазоне 42...52 HRC с сохранением вязкости сердцевины. Шероховатость рабочей поверхности при этом должна быть не более 3,2 мкм по параметру Ra. Основными дефектами, проявляемыми в процессе эксплуатации деталей палец и валик являются: трещины, задиры, сколы и износ поверхностного закаленного слоя. За исключением трещин, которые возникают в процессе восприятия знакопеременных

нагрузок, остальные дефекты связаны с износостойкостью контактной поверхности деталей палец и валик.

Для повышения износостойкости деталей палец и валик, возможно применение другого вида термической обработки, которое незначительно может повысить твердость поверхности, но в данном случае существует вероятность повышения твердости сердцевины деталей и, соответственно, выводу их из эксплуатации раньше срока.

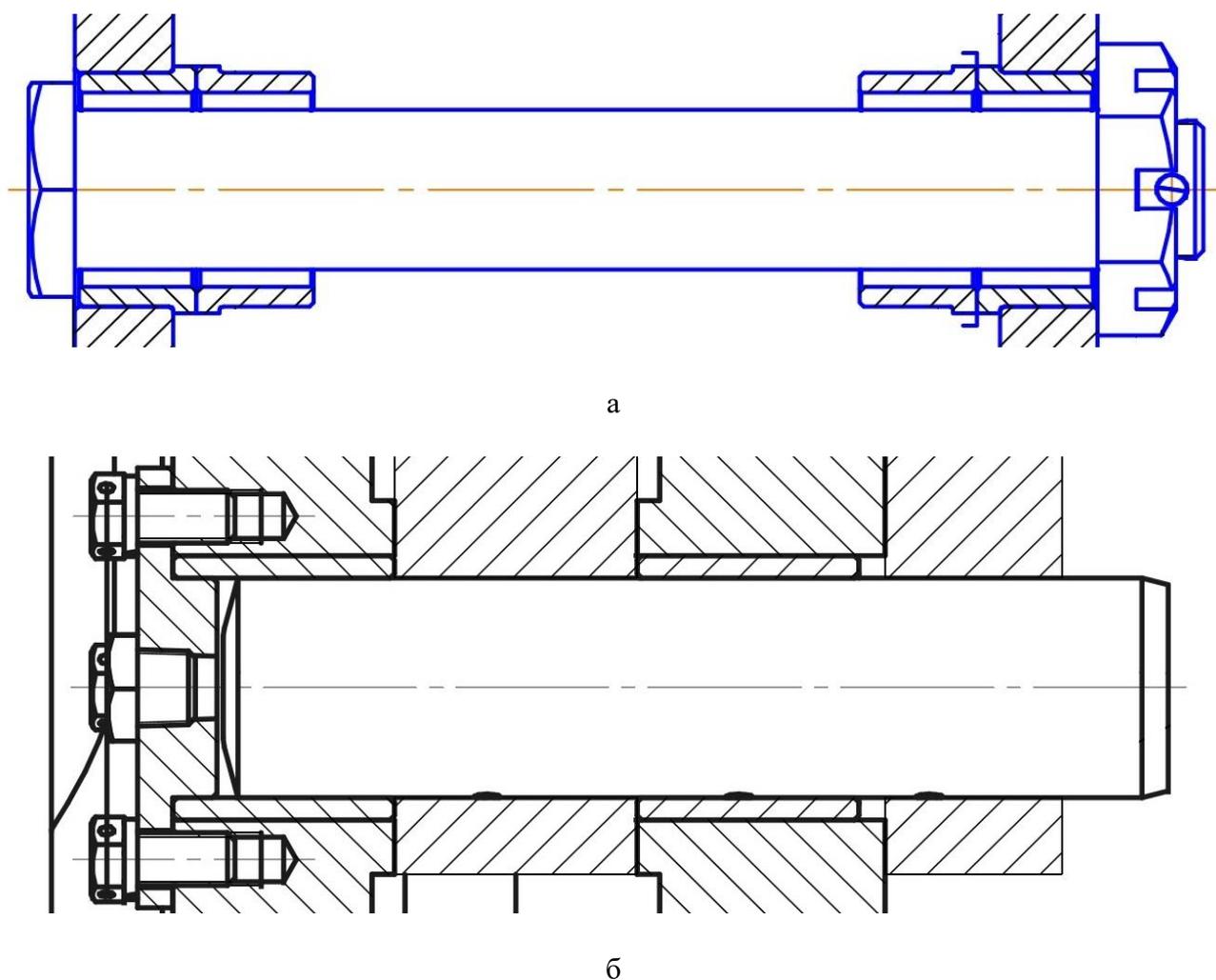


Рис. 1 – Детали тележки тепловоза: а – валик; б – палец

Одним из методов повышения износостойкости поверхности с сохранением исходной твердости сердцевины является электроискровое легирование в защитных средах. Таким образом, для подбора электродных материалов, режимов легирования и защитной среды, целесообразно проведение серии экспериментов по выявлению рациональной комбинации трех составляющих, обеспечивающих формирование поверхностного слоя соответствующей шероховатости, твердости не ниже исходной и максимальной сплошности покрытия.

Следовательно, для поиска области оптимума составляющих процесса электроискрового легирования необходимо проведение серии экспериментов по выявлению доминирующих факторов и определения функции отклика, позволяющей производить адекватную оценку сформированного покрытия.

Детали валик и палец изготовлены из стали 45 ГОСТ 1050-2013. Из анализа литературных источников и несмотря на специфику электроискрового легирования тугоплавкими соединениями, в качестве электродных материалов для упрочнения поверхностей этих деталей целесообразно применить стандартные твердые сплавы на основе карбидов титана и вольфрама, например марки Т15К6 и ВК8. Исходя из анализа, представленного другими исследователями, перспективно применение твердого сплава марки Т15К6, который по их мнению будет способствовать повышению износостойкости, ввиду того что нашел широкое применение для повышения износостойкости режущего инструмента, металлургического и сельскохозяйственного оборудований.

В качестве защитных сред было принято решение о применении трех газов: аргон (Ar), углекислый газ (CO₂) и гелий (He). Выбор этих газов обусловлен их применимостью в процессах сварки и наплавки, например:

- аргон (инертный газ) – целесообразно применять для сварки ответственных металлоконструкций из активных и редких металлов и сплавов, цветных металлов, стали и чистого алюминия;
- углекислый газ (активный газ) – целесообразно применять для сварки чугуна, низко- и среднеуглеродистых, низколегированных конструкционных коррозионностойких сталей;
- гелий (инертный газ) – по сравнению с аргоном при тех же значениях силы тока от дуги происходит большее в 1,5...2 раза выделение энергии, это в свою очередь может способствовать большему проплавлению при электроискровом легированию и, возможно, увеличению скорости легирования. Применяется при сварке химически чистых и активных материалов и сплавов на основе алюминия и магния.

Остальные типы газов нецелесообразно применять ввиду их узкого применения для отдельных металлов и сплавов.

В рамках данного исследования частотно-энергетические режимы будут ограничены параметрами установки для электроискрового легирования ALIER-METAL G53. Таким образом, исходя из условий работы упрочняемых деталей было принято решение на начальном этапе о легировании на трех режимах, при которых неизменными параметрами будут напряжение $U = 20$ В, сила тока $I = 200$ А, мощность импульсного разряда $P = 4000$ Вт, остальные параметры представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Частотно-энергетические режимы легирования

Режим	Длительность τ , мкс	Энергия единичного импульсного разряда E , Дж ($E=P*\tau$)	Частота f , Гц	Суммарная энергия за 1 минуту обработки $\sum E$, кДж*мин ($\sum E=E*f*60$ сек)
3	100	0,4	400	9,60
5	400	1,6	160	15,36
7	1500	6	40	14,4

Для адекватной оценки сформированного покрытия методом электроискрового легирования и обеспечения износостойкости поверхности деталей палец и валик, в качестве функции отклика в первом приближении были приняты шероховатость упрочненной поверхности, твердость сформированного покрытия и толщина сформированного покрытия.

Для формирования таблицы факторов и интервалов варьирования целесообразно закодировать тип газа по следующему принципу:

- аргон (Ar) – (1);
- углекислый газ (CO₂) – (2);
- гелий (He) – (3).

Таким образом, были получены следующие факторы и интервалы варьирования, таблица 2. Стоит отметить, что для двух электродных материалов факторы и интервалы варьирования в первом приближении идентичны.

Таблица 2 – Факторы и интервалы варьирования

№ п/п	Факторы	Уровни			Интервал \bar{J}
		-1	0	+1	
1	\bar{X}_1 – режим легирования	3	5	7	2
2	\bar{X}_2 – тип газа	1	2	3	1

Дальнейшим направлением исследования электроискрового легирования в защитных средах является проведение серий экспериментов по формированию электроискровых покрытий и последующее их исследования с целью определения доминирующих факторов и функции отклика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Николенко, С. В. Электродные материалы для электроискрового легирования с минеральными и самофлюсующимися добавками / С.В. Николенко, Хосен Ри – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. – 305 с.
2. Создание и исследование электродов на основе карбидов вольфрама и титана для механизированного электроискрового легирования / М. П. Лебедев, С. В. Николенко, А. Д. Верхотуров, Н. А. Сюй // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2014. – № 4(21). – С. 20-36.
3. Юхин Н. А. Механизированная дуговая сварка плавящимся электродом в защитных газах (MIG/MAG) / Н.А. Юхин. – М.: СОУЭЛО, 2002. – 72 с.
4. Ким В.А., Коротаев Д.Н. Газовая среда – фактор упрочнения при электроискровом легировании // Электронная обработка материалов. Кишинев. – 1998. – С. 37-43.
5. Коротаев, Д.Н. Влияние газовых сред на технологические возможности электроискрового легирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / Коротаев Дмитрий Николаевич. Благовещенск, 1998. – 203 с.: ил.
6. Коротаев, Д.Н. Создание износостойких покрытий электроискровым легированием в окислительных и инертных средах с оптимизацией режимов и использованием твердосплавных электродов: автореф. ... док. техн. наук / Дмитрий Николаевич Коротаев. – Омск, 2009. – 36 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИБРАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ

Кудинов Е.А., Владимиров А.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС»
309516, Российская Федерация, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42,
tomm_sti_misis@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 доб. 240*

***Аннотация.** В статье рассмотрены различные марки труднообрабатываемых материалов. Проведено сравнение методов обработки: точения с использованием плазменного подогрева и вибрационного резания. Описана кинематическая схема установки для вибрационного резания. Выявлена зависимость мощности привода данной установки от глубины резания и подачи при точении. Выполнены предварительные расчеты привода для трех моделей токарно-карусельных станков. Определены перспективные направления для дальнейших исследований.*

Ключевые слова: метод виброточения; режимы резания; величина силы резания; крутящий момент на инструменте; потребляемая мощность; эффективность обработки.

DETERMINATION OF POWER PARAMETERS OF THE DRIVE OF THE INSTALLATION FOR VIBRATION CUTTING

Kudinov E.A., Vladimirov A.A.

*Stary Oskol Technological Institute. A.A. Ugarova (branch)
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education "National Research Technological
Institute "MISIS" 309516, Russia, Stary Oskol, microdistrict im. Makarenko, 42,
tomm_sti_misis@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 ext. 240*

***Abstract.** The article considers various grades of difficult-to-machine materials. The comparison of machining methods is carried out: turning using plasma heating and vibration cutting. The kinematic diagram of the vibration cutting unit is described. The dependence of the drive power of this unit on the cutting depth and feed during turning is revealed. Preliminary calculations of the drive for three models of vertical turning lathes are performed. Promising directions for further research are determined.*

Keywords: vibratory turning method; cutting modes; cutting force value; tool torque; power consumption; processing efficiency.

Введение

Компоненты горного и металлургического оборудования функционируют в суровых условиях, что требует от них высоких эксплуатационных характеристик. Для достижения этих характеристик необходимо улучшение физико-механических свойств используемых конструкционных материалов.

В различных отраслях промышленности используются конструкционные материалы, характеризующиеся низкой обрабатываемостью резанием. Типичным примером таких материалов являются аустенитные стали. К наиболее распространенным маркам относятся 110Г13Л, 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 03Х20Н16АГ6 и другие. Механическая обработка указанных марок сталей сопряжена с определенными сложностями, обусловленными их склонностью к наклепу, высокой вязкостью и прочностью.

Обработка высокопрочных сталей с повышенной производительностью по сравнению с традиционным точением осуществляется посредством использования дополнительных внешних энергетических воздействий. К ним относятся тепловые, механические, электрические, химические, ультразвуковые и электромагнитные воздействия.

Наиболее эффективным способом обработки сталей данного типа является плазменно-механическая обработка, основанная на нагреве поверхностного слоя материала до температуры, близкой к точке его плавления.

Несмотря на высокую производительность и эффективность, данный метод имеет и определенные недостатки: повышенная хрупкость и снижение прочности обработанного слоя, увеличенная шероховатость поверхности, возможные трещины на поверхности в результате насыщения поверхностного слоя водородом.

Хотя точение с наложением на резцовую головку низкочастотных колебаний характеризуется меньшей производительностью по сравнению с другими методами обработки, оно обладает рядом преимуществ, минимизируя недостатки традиционных технологий.

Ограниченное распространение вибрационного точения обусловлено низкой производительностью, которая связана с малой глубиной резания. Поэтому актуальной задачей является разработка и совершенствование оборудования для вибрационного точения, способного обеспечить более высокую производительность.

Плазменно-механическая обработка обычно выполняется на токарно-карусельных станках, конструкция которых позволяет достигать значительных глубин резания.

В работе [1] обобщены данные по обработке с плазменным нагревом и без него. В частности, приводятся режимы обработки сплава 22К-ВДП на токарном станке модели

1A680: глубина резания $t = 15...30$ мм, подача $S = 1,5$ мм/об, скорость резания $v = 16...22$ м/мин, при этом сила резания составляла $38...42$ кН.

Авторами этой же работы представлены результаты механической обработки заготовок из стали 40 с коркой на токарно-карусельном станке модели 1550: $t = 25$ мм, $S = 2,9$ мм/об, $v = 44$ м/мин.

В работах [2, 3] указаны режимы резания марганцовистых сталей с плазменным подогревом: $t = 3...10$ мм, $S = 1,8...3,4$ мм/об, $v = 10...24$ м/мин.

Как видно, для достижения высоких значений глубины резания и подачи требуется значительная мощность станочного оборудования.

В исследованиях других авторов также упоминаются режимы резания с глубиной резания до 15 мм. Применение плазменно-механической обработки позволяет увеличить эту величину примерно в 1,5 раза.

В работе [4] исследователи представляют результаты опытов по использованию ультразвуковых колебаний инструмента в технологии плазменно-механической обработки.

Были рассмотрены различные режимы резания при обработке сталей 20X23H18 и 20X25H20C2Л: без применения плазменного нагрева и ультразвуковых колебаний ($t = 3$ мм, $S = 0,31$ мм/об, $v = 10$ м/мин), с плазменным нагревом ($t = 6$ мм, $S = 0,31$ мм/об, $v = 20$ м/мин) и с комбинированным воздействием плазмы и ультразвука ($t = 6$ мм, $S = 0,31$ мм/об, $v = 20$ м/мин).

Следует подчеркнуть, что проведенные исследования охватывали широкий спектр режимов резания для точения материалов, характеризующихся повышенной твердостью.

Основная часть

Исходя из особенностей компоновки лабораторных установок для вибрационного резания, их конструктивные характеристики не всегда обеспечивают высокую жесткость, необходимую для выполнения интенсивных режимов обработки.

Важно отметить, что жесткость самого станка, на котором используется установка вибрационного резания, также играет существенную роль. Следовательно, при обработке заготовок на мощных станках в условиях интенсивной обработки требуется разработка установки вибрационного резания с высоким уровнем мощности привода и повышенной жесткостью.

Для достижения высокой производительности установки вибрационного точения, сопоставимой с возможностями самого станка, а также для повышения её конкурентоспособности по сравнению с плазменно-механической обработкой, необходимо определить мощность привода, соответствующую максимальным техническим характеристикам станка.

Для расчёта мощности привода установки вибрационного резания используется кинематическая схема существующей установки (см. рис. 1). При этом в качестве исходных данных принимается максимальное допустимое усилие резания, обусловленное характеристиками станка.

В качестве примера рассматриваются следующие модели станков и их технические характеристики:

- токарно-карусельный станок модели 1516 с усилием резания 27500 Н;
- тяжёлый токарно-винторезный станок модели 1М65 с усилием резания 11750 Н;
- тяжёлый токарный станок модели 1А680 с усилием резания 122583 Н.

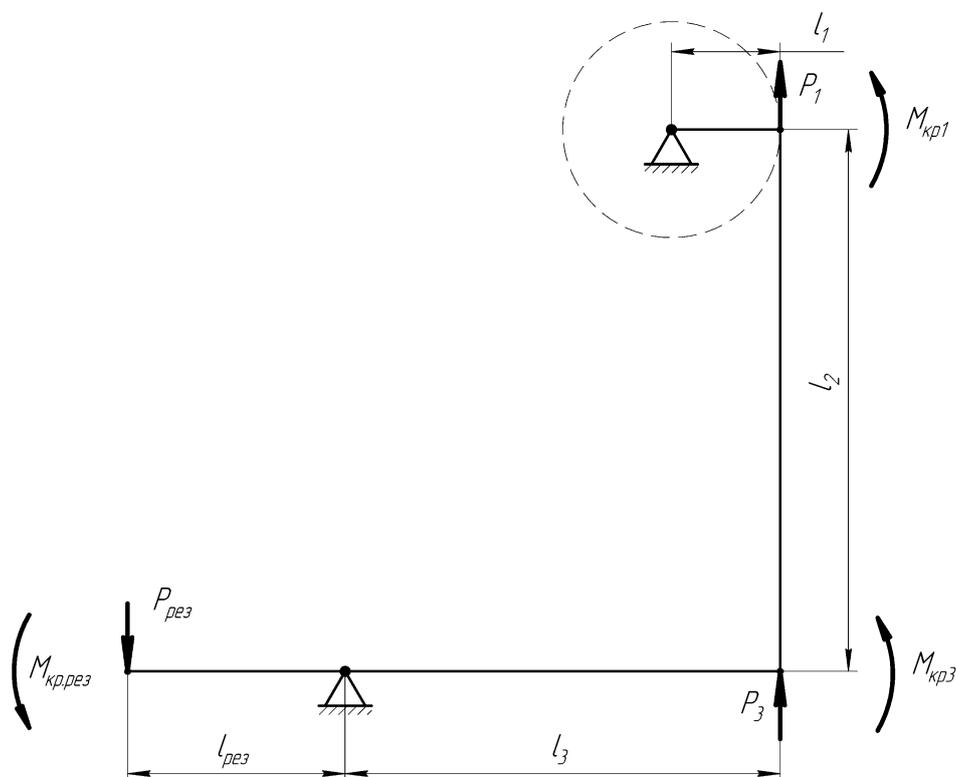


Рис. 1 – Кинематическая схема установки вибрационного резания:

l_1 – плечо эксцентрика, $M_{кр1}$ – крутящий момент на эксцентрике, l_2 – плечо шатуна, $M_{кр3}$ – колебательный крутящий момент резцедержателя, l_3 – плечо резцедержателя, $l_{рез}$ – вылет резца, $P_{рез}$ – сила резания, $M_{кр.рез}$ – колебательный крутящий момент на резце от силы резания

Эффективность виброобработки зависит от глубины реза. При расчете оптимальных режимов резания стали 110Г13Л [5] с учетом максимально допустимого усилия, глубина реза для различных типов станков составила:

- токарно-карусельный станок модели 1516 - 11,6 мм;
- тяжелый токарно-винторезный станок модели 1М65 - 8,3 мм;

- тяжелый токарный станок модели 1А680 - 38,4 мм.

Мощность привода установки для виброобработки рассчитывалась исходя из силы резания станка ($P_{рез}$) и крутящего момента в различных точках системы: на вершине резца ($M_{кр.рез}$), на резцедержателе ($M_{кр3}$) и в эксцентриковом механизме ($M_{кр1}$).

Согласно кинематической схеме, колебательный крутящий момент на резцедержателе ($M_{кр3}$) определяется суммой колебательного момента от силы резания и моментом, обусловленным вылетом резца.

$$M_{кр.рез} = M_{кр3} = P_{рез} \cdot l_{рез}. \quad (1)$$

По условию равновесия рычага находим силу P_3 по формуле (2)

$$P_3 = \frac{P_{рез} \cdot l_{рез}}{l_3}. \quad (2)$$

Плечо шатуна l_2 , ввиду конструкции установки вибрационного резания, влияния на силы и моменты не оказывает и является передаточным звеном. Таким образом, крутящий момент на эксцентрике $M_{кр1}$ равен колебательному крутящему моменту на резцедержателе $M_{кр3}$

$$M_{кр1} = M_{кр3}. \quad (3)$$

Следовательно, мощность привода установки вибрационного резания составит

$$P_1 = \frac{M_{кр1} \cdot n}{9549}. \quad (4)$$

После преобразования полученных зависимостей мощность привода установки вибрационного резания составит

$$P_1 = \frac{P_{рез} \cdot l_{рез} \cdot n}{9549}. \quad (5)$$

Таким образом, анализируя полученные корреляции, можно увидеть, что основное влияние на приводную мощность вибрационного режущего устройства существенное влияние оказывают сила резания $P_{рез}$ на инструменте и величина $l_{рез}$, на которую выдвигается вершина инструмента из-за колебаний. Ось держателя инструмента. Поскольку для чернового точения труднообрабатываемых материалов не требуется высокая частота колебаний, рекомендуется использовать тихоходный привод большой мощности;

Для реализации низкочастотной черновой обработки необходима частота колебаний f в диапазоне от 25 до 70 Гц [6-8], поэтому частота вращения n привода равна

$$n = f \cdot 60 \quad (6)$$

Для реализации чернового точения труднообрабатываемых материалов методом вибрационного резания определяющим фактором является мощность привода. Конструкция установки по патенту №2675440 [9] рис. 2, предусматривает ременную передачу в приводе,

таким образом можно регулировать частоту вращения в широком диапазоне параметров без потери мощности, приходящуюся на эксцентриковый механизм установки.

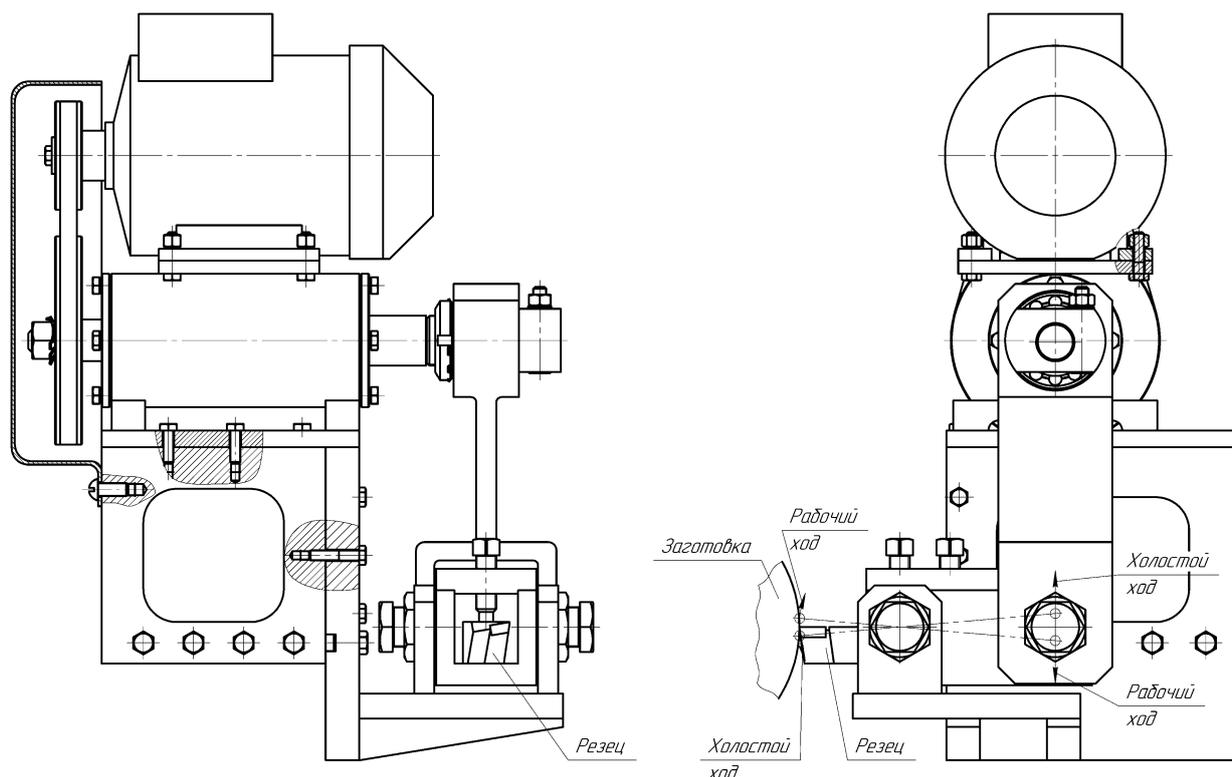


Рис. 2 – Кинематическая схема установки вибрационного резания:

а – вид спереди, б – вид сбоку

Исходя из полученных зависимостей были определены мощности привода установки для вибрационного резания для представленных ранее станков с учетом изменения мощности привода и при постоянных размерах плеч установки.

Для обеспечения частоты колебаний 25 Гц с учетом понижения частоты вращения с помощью ременной передачи с существующим в установке соотношением 1/2 необходимая частота вращения электродвигателя по зависимости (6) составит

$$n = 25 \cdot 60 \div 2 = 750 \text{ об/мин.}$$

Мощность привода установки вибрационного резания для токарно-карусельного станка модели 1516 при максимальном усилии резания 27500 Н определили по формуле (5)

$$P_1 = \frac{27500 \cdot 0,05 \cdot 750}{9549} = 108,0 \text{ кВт.}$$

С учетом передаточного соотношения 1/2 мощность привода составила

$$P_1 = 108,0 \div 2 = 54 \text{ кВт.}$$

Мощность привода установки вибрационного резания для тяжелого токарно-винторезного станка модели 1М65 при максимальном усилии резания 11750 Н определили по формуле (5)

$$P_1 = \frac{11750 \cdot 0,05 \cdot 750}{9549} = 46,1 \text{ кВт.}$$

С учетом передаточного соотношения 1/2 мощность привода составила

$$P_1 = 46,1 \div 2 = 23,0 \text{ кВт.}$$

Мощность привода установки вибрационного резания для тяжелого токарного станка модели 1А680 при максимальном усилии резания 122583 Н определили по формуле (5)

$$P_1 = \frac{122583 \cdot 0,05 \cdot 750}{9549} = 481,4 \text{ кВт.}$$

С учетом передаточного соотношения 1/2 мощность привода составила

$$P_1 = 481,4 \div 2 = 240,7 \text{ кВт.}$$

Найденные мощности привода установки вибрационного резания для трех моделей станков показывают достаточно большую мощность привода при возможности обработки с максимальной глубиной резания станка, что в свою очередь говорит о индивидуальности разработки конструкции установки для каждой конкретной модели станка.

Заключение

Изменяя установочные параметры вылета фрезы и длины державки инструмента, частоты колебаний фрезы и передаточного числа ременной передачи можно получить значительно меньшие значения мощности электропривода, что будет отвечать условиям компактности и малого энергопотребления.

Таким образом, из проведенной работы можно сделать следующие выводы:

- 1) установлена возможность производительной механической обработки методом вибрационного резания труднообрабатываемых материалов;
- 2) обеспечение требуемой мощности привода установки вибрационного точения возможно при конструировании установки для конкретной модели станка.

Направлениями дальнейших исследований являются:

- 1) выявление зависимости мощности привода установки вибрационного резания от площади поперечного сечения срезаемого материала;
- 2) оптимизация конструктивных параметров установки вибрационного резания для обеспечения компактности;
- 3) определение параметров жесткости установки для вибрационного резания с целью обеспечения глубин и подач резания, соответствующих техническим характеристикам станка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Обработка металлов резанием с плазменным нагревом / Резников А.Н., Шатерин М.А., Кунин В.С., Резников Л.А., Под ред. Резникова Л.А. М.: Научно-техническое издательство «Машиностроение», 1986. 232 с.
2. Кунин В.С. Опыт внедрения плазменно-механической обработки. Ленинград: ЛДНТП, 1982. 28 с.
3. Шатерина М.А. Новое в технологии обработки заготовок с плазменным подогревом зоны резания. Ленинград: ЛДНТП, 1983. 92 с.
4. Аббасов В.А., Баширов Р.Дж. Особенности применения ультразвука при плазменно-механической обработке деталей из труднообрабатываемых материалов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2022. Т.24, №3. С. 53-65.
5. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К. Справочник технолога машиностроителя. Т.1, 4-е изд. М.: Машиностроение, 1985. 589 с.
6. Кудинов Е.А., Владимиров А.А., Макаров А.В., Шаповалов А.И. Исследование абсолютного износа режущего инструмента при механической обработке методом вибрационного точения // Современные проблемы теории машин. 2023. №15. С. 32-36.
7. Zhao Haidong, Zou Ping, Ma Wenbin, Zhou Zhongming A Study on Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting of Inconel 718 // Hindawi Publishing Corporation Shock and Vibration Volume 2016. pp. 11-22.
8. Rudranarayana Kandi, Susanta Kumar Sahoo & Ananda Kumar Sahoo Ultrasonic vibration-assisted turning of Titanium alloy Ti-6Al-4V: numerical and experimental investigations // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering volume 42, Article number: 399. 2020.
9. Патент № 2675440 С1 Российская Федерация, МПК В23В 25/00. устройство для вибрационного резания: № 2017143973: заявл. 14.12.2017: опубл. 19.12.2018 / А.П. Сергиев, А.А. Владимиров, Е.Г. Швачкин.

ОБРАБОТКА ЗАГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ

Ларин А.И., Пищулин А.Ю.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
larin.a.i@yandex.ru*

***Аннотация.** Статья посвящена исследованию влияния конструкции тензометрических приспособлений для измерения силы деформирования при поверхностно-пластическом деформировании (ППД) поверхности. Представлены общий вид накатной головки, распределение эквивалентных деформаций в крышках, тарировочные графики роликовых головок.*

Ключевые слова: пластическое деформирование; тензометрический комплекс; ролики; эквивалентное деформирование; тарировка.

PROCESSING OF A WORKPIECE BY SURFACE PLASTIC DEFORMATION WITH A STRAIN GAUGE COMPLEX

Larin A.I., Pishchulin A.Yu.

*Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the National Research Technological
Institute "MISIS" Russia, Stary Oskol*

***Abstract.** The article is devoted to the study of the influence of the design of strain gauge devices for measuring the deformation force during surface plastic deformation (SPD) of the surface. The general view of the knurling head, the distribution of equivalent deformations in the covers, and the calibration graphs of the roller heads are presented.*

Keywords: plastic deformation; strain gauge complex; rollers; equivalent deformation; calibration.

Установлено, что известные конструкции тензометрических приспособлений не позволяют моделировать упрочнение поверхностным пластическим деформированием (ППД) со значительными силами деформации. Предложена конструкция трехроликовой тензометрической головки, создающей замкнутую систему сил. Разработанный тензометрический комплекс позволяет моделировать упрочняющую обработку ППД, а также

накатывание резьб и других профилей на заготовках диаметром от 10 до 100 мм с силами деформирования до 20000 Н. Погрешность измерения не превышает 50 Н.

Важнейшим технологическим параметром обработки ППД является сила деформирования. Известные конструкции тензометрических приспособлений для измерения силы деформирования при ППД представляют собой упругую державку с установленным на ней роликом. Более рациональным представляется использование многороликовых приспособлений с замкнутой системой сил.

Для измерения сил при упрочнении ППД наружных цилиндрических поверхностей разработан автоматизированный тензометрический комплекс. Основным элементом его является тензометрическая накатная головка. Общий вид головки представлен на рисунке 1. Головка имеет три ролика 2. Ролики установлены на игольчатых подшипниках на оси 3. Оси 3 вставлены в крышки 1, которые стянуты шпильками 5 и гайками 6. В одну из таких стяжек ставится хвостовик 4, при помощи которого головка устанавливается в резцедержатель универсального токарного станка. Для простоты конструкции радиальное обжатие самой головкой не регулируется, оно варьируется размерами роликов. В крышках имеются специальные пазы, которые служат концентратором напряжений и, следовательно, местом расположения тензорезисторов.

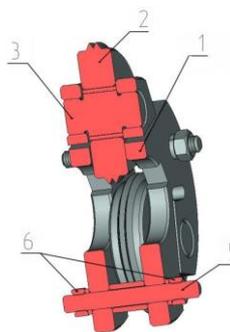
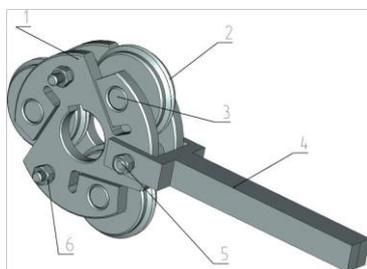


Рис. 1 – Общий вид экспериментальной тензометрической накатной головки.

Головка может устанавливаться на оборудование токарного или сверлильного типа.

При проведении эксперимента на тензометрическую головку будут действовать две составляющие силы деформирования: радиальная сила P_r и тангенциальная сила P_t . Для анализа деформаций крышки использовался программный продукт T-Flex. Результаты моделирования методом конечных элементов нагружения крышки суммарной силой 5000 Н приведены на рисунке 2.

Для измерения радиальной силы, действующей на ролики в процессе эксперимента, в зоне растяжения «ушка» крышки наклеены тензорезисторы. Для увеличения чувствительности измерительной установки и повышения точности результатов тензорезисторы наклеиваются на обе крышки головки для каждой оси ролика. Для применения в экспериментальном комплексе выбираются фольговые тензорезисторы с длиной базы 5 мм, как наиболее универсальные и подходящие для данного типа измерений. Выбор длины чувствительной части (базы) тензорезистора обусловлен размерами очага деформации (толщины «ушка» крышки).

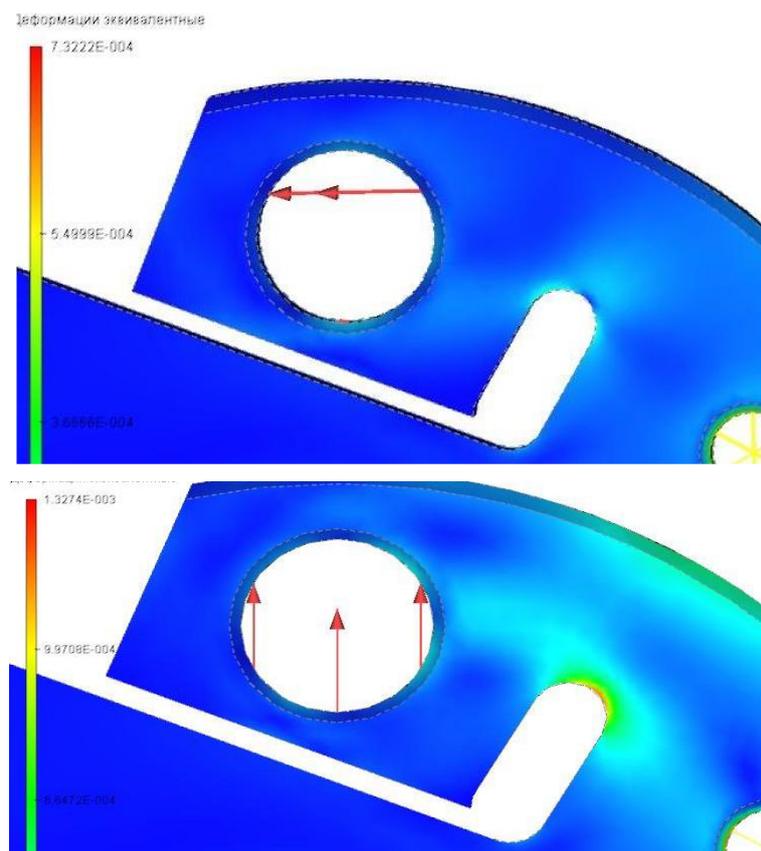


Рис. 2 – Распределение эквивалентных деформаций в «ушке» крышки при нагружении её суммарной тангенциальной силой (а) и радиальной силой (б), равной 5000Н.

Тензорезисторы попарно соединены в мостовые схемы Уитстона, в которые так же входят компенсационные переменные резисторы.

Условие равновесия моста Уитстона выглядит следующим образом:

$$T1/R3 = R4/T2 \quad (1)$$

Данное соотношение достигается за счет подстройки переменных тензорезисторов R3 и R4. Нарушение соотношения за счет небольшого изменения одного из сопротивлений моста приведет к появлению тока в диагонали cd, пропорционального относительному изменению сопротивления. Таким образом, ток, возникающий в мостовой схеме, будет пропорционален деформации «ушка».

Для регистрации результатов на ЭВМ использовалась программная среда LabView. Созданный в ней виртуальный прибор позволяет в режиме реального времени принимать аналоговый сигнал одновременно с трех каналов и по завершении измерений сохранять его в табличный файл.

Для установления соответствия величине получаемого на ЭВМ сигнала силы, возникающей при накатывании необходимо провести тарировку каждой из осей экспериментальной головки. Для этого головка устанавливается в резцедержку универсального токарного станка. Между ней и патроном устанавливается динамометр с индикатором часового типа (рис.3).



Рис. 3 – Тарировка головки

Максимальная нагрузка на динамометр – 10000 Н, цена деления – 20 Н. После каждого этапа нагружения и разгрузки тарировочной системы (каждые 1000 Н) результат, полученный на ЭВМ фиксируется. Тарировка проводится отдельно для каждой оси ролика экспериментальной головки. Полученные данные усреднены для каждой оси и по ним построены тарировочные графики (рис. 4).

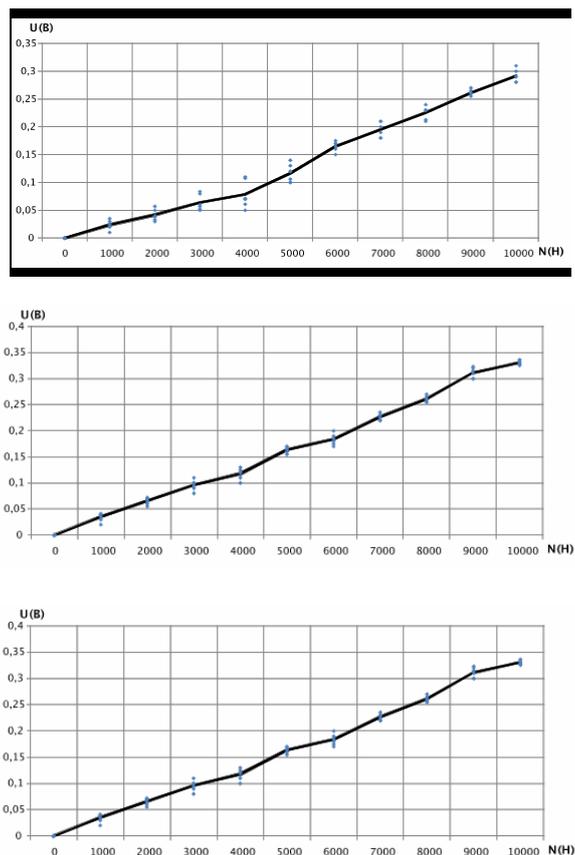


Рис. 4 – Тарировочные графики для первой (а), второй (б) и третьей (в) оси головки.

Регулировка радиального обжатия достигается установкой головки с роликами на заранее рассчитанное расстояние от торца образца. Остальные факторы эксперимента определяются конструктивными особенностями роликов.

Разработанный тензометрический комплекс позволяет моделировать упрочняющую обработку ППД, а также накатывание резьб и других профилей на заготовках диаметром от 10 до 100 мм с силами деформирования до 20000 Н. Погрешность измерения силы деформирования не превышает 50 Н. Исследования проводятся в рамках государственного задания 2014/420-723.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Афонин, А.Н. Гетерогенное упрочнение деталей горно-металлургических машин поверхностным пластическим деформированием [текст] / А.Н. Афонин, А.И. Ларин, А.В. Макаров // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2015. Том 58. № 11. - С. 823 – 828.

2. Mohammadi, F. Finite element analysis and design optimization of low plasticity burnishing process [текст] / F. Mohammadi, R. Sedaghati, A. Bonakdar // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, February 2014, Volume 70, Issue 5-8, Pp 1337-1354.
3. Киричек, А.В., Резьбонакатывание. Библиотека технолога [текст] / А.В. Киричек, А.Н. Афонин. - М.: Машиностроение, 2009. – 312 с.
4. Лапин, В.В. Накатывание резьб, червяков, шлицев и зубьев [текст] / В.В. Лапин, М.И. Писаревский, В.В. Самсонов, Ю.И. Сизов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1986. – 228 с.
5. Киричек, А.В. Создание гетерогенной структуры материала статико-импульсной обработкой [текст] / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев // СТИН. - 2007, №12. – С. 28-31.
6. Смелянский, В.М. Технологическое повышение износостойкости деталей методом электроэрозионного синтеза покрытий [текст] / В.М. Смелянский, В.А. Земсков // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2005, № 1. - С. 27-35.

РЕЖУЩЕ-ДЕФОРМИРУЮЩАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛА ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ЕГО ПОВЕРХНОСТИ

Ларин А.И.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
larin.a.i@yandex.ru

Аннотация. *Статья посвящена исследованию упрочнению поверхности материала при помощи режущо-деформирующей обработкой. Представлены результаты экспериментальной обработки поверхности образца. Представлена профилограмма поверхности образца после обкатывания и нарезанный на образце рельеф до и после обработки ППД (увеличено в 10 раз).*

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование; режущо-деформирующая обработка; моделирование процесса; заготовка.

CUTTING-DEFORMING PROCESSING OF MATERIAL TO HARDEN ITS SURFACE

Larin A.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education "National Research Technological Institute "MISIS" Russia, Stary Oskol

Abstract. *The article is devoted to the study of strengthening the surface of a material using cutting-deforming processing. The results of experimental processing of the sample surface are presented. A profilogram of the sample surface after rolling and a relief cut on the sample before and after SPD processing (magnified 10 times) are presented.*

Keywords: surface plastic deformation; cutting-deforming processing; process modeling; workpiece.

Горно-металлургические машины работают в весьма тяжелых условиях и имеют большое количество деталей, подвергающихся усталостному нагружению. В данных машинах часто применяются детали, имеющие низкую жесткость. Примерами таких деталей могут служить шпиндели прокатных станов и валы конусных дробилок.

Известно, что значительное повышение эксплуатационных свойств деталей машин может быть достигнуто путем формирования на их рабочих поверхностях гетерогенной

структуры. Чередование в гетерогенном слое упрочненных твердых участков с менее упрочненными вязкими способствует торможению развития микротрещин и повышению усталостной прочности материала. Одним из наиболее эффективных способов повышения эксплуатационных характеристик деталей машин является упрочнение их с помощью поверхностного пластического деформирования. Гетерогенно упрочненная структура может быть получена применением динамических (ударных) методов ППД, в частности статико-импульсной обработки (СИО). Однако, применение динамических методов ППД затруднительно при упрочнении точных и нежестких деталей. Данных недостатков лишены методы ППД со статическим нагружением инструмента. В связи с этим, для получения гетерогенных структур при упрочнении точных и нежестких деталей можно использовать комбинированную режущо-деформирующую обработку. Таким образом, целью работы является повышение качества изготовления нежестких валов за счет гетерогенного упрочнения режущо-деформирующей обработкой ППД волнистого рельефа.

При реализации режущо-деформирующей обработки ППД на упрочняемой поверхности заготовки вначале нарезается волнистый рельеф. Затем деталь подвергается обкатыванию гладким цилиндрическим роликом с целью сглаживания рельефа и формирования гладкой рабочей поверхности детали. При деформировании металл перемещается роликом из выступов нарезанного рельефа во впадины. Рельеф на заготовке при этом располагается относительно номинального размера детали таким образом, чтобы объем его выступов был равен объему впадин.

Направление нарезаемого рельефа может быть кольцевым, осевым или наклонным.

Степень и равномерность упрочнения при режущо-деформирующей обработке ППД будут зависеть от параметров волнистого рельефа: его формы, шага P , высоты h . Влияние размеров деформирующего инструмента менее значительно. С точки зрения технологии нарезания наиболее предпочтительными являются профили рельефа треугольной и круглой формы. В результате проведенного моделирования ППД методом конечных элементов в программе DEFORM 2D установлено, что треугольный профиль обеспечивает большую степень деформации и, следовательно, упрочнения, по сравнению с круглым. Наибольшая степень деформации при этом обеспечивается более острым профилем. Однако при обкатывании острого профиля возможно образование на поверхности заготовки складок – закатов. В связи с этим, наиболее предпочтительным для гетерогенного упрочнения режущо-деформирующей обработкой ППД представляется использование предварительно нарезанного рельефа треугольного профиля с углом 90. Шаг рельефа не должен превышать 1,5 мм, а высота 0,7 мм.

Исходя из условия равенства объемов металла до и после деформирования получены формулы для расчета диаметра заготовки под нарезание рельефа. Полученный по данной формуле диаметр должен быть уточнен путем обкатывания пробной ступенчатой заготовки.

Для исследования результатов упрочнения после ППД проведен вычислительный эксперимент по моделированию процесса с помощью МКЭ в DEFORM 3D. План эксперимента включает 25 опытов. По результатам вычислительного эксперимента с помощью регрессионного анализа получены зависимости, связывающие технологические параметры процесса с распределением полей напряжений и деформаций.

Для проведения экспериментальных исследований технологических процессов упрочнения ППД разработана и изготовлена экспериментальная тензометрическая накатная головка. Головка имеет три равномерно расположенных по окружности свободно вращающихся деформирующих ролика. Диапазон возможных диаметров заготовок составляет 10...60 мм. Настройка головки на размер заготовки производится подбором диаметров роликов.

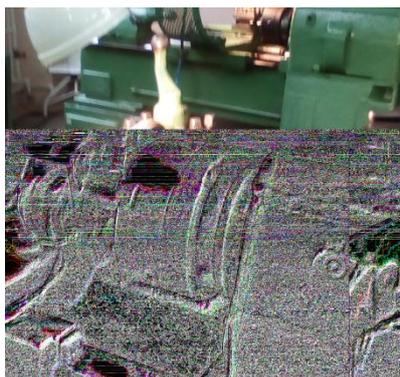


Рис. 1 – Экспериментальная накатная головка на токарном станке.

Фотография с увеличением в 10 раз нарезанного на образце диаметром 20 мм треугольного рельефа шагом 1 мм и углом профиля 60° до и после обкатывания экспериментальной головкой приведена на рисунке. Геометрия поверхности в целом соответствует полученной при моделировании процесса с помощью МКЭ. В частности, результаты натурального эксперимента подтверждают предположение о том, что обкатывание остроугольного профиля может приводить к образованию на поверхности заготовки закатов.

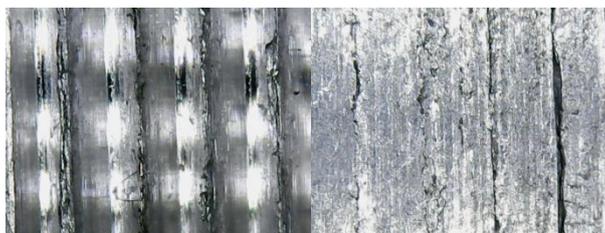


Рис. 2 – Нарезанный на образце рельеф до и после обработки ППД (увеличено в 10 раз).

Профилограмма поверхности образца после обкатывания представлена на рисунке. Шероховатость поверхности R_a после ППД треугольного рельефа составляет порядка 2 мкм. Волнистость получаемой после обкатывания поверхности незначительна. Данные результаты следует признать удовлетворительными.

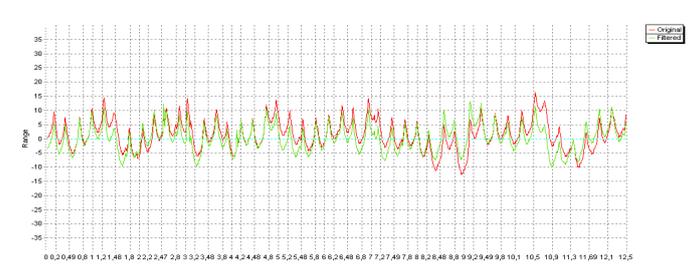


Рис. 3 – Профилограмма поверхности образца после обкатывания.

В результате проведенных исследований разработана конечноэлементная модель для исследования напряженно-деформированного состояния при деформировании предварительно нарезанного рельефа, выявлен характер влияния конструктивно-технологических параметров процесса на результаты упрочнения, разработана методика расчета диаметра заготовки, разработан экспериментальный измерительный комплекс для оценки адекватности расчетных моделей.

В настоящее время проводятся исследования по выявлению характера влияния формы и размеров предварительно нарезаемых выступов на усталостную прочность деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов, Г.П. Повышение износостойкости деталей созданием регулярной гетерогенной макроструктуры [текст] / Г.П. Иванов, Л.В. Картонова, А.А. Худошин // Строительные и дорожные машины. - 1997, № 1. - С. 33-34.
2. Киричек, А.В. Создание гетерогенной структуры материала статико-импульсной обработкой [текст] / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев // СТИН. - 2007, №12. – С. 28-31.

3. Смелянский, В.М. Технологическое повышение износостойкости деталей методом электроэрозионного синтеза покрытий [текст] / В.М. Смелянский, В.А. Земсков // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2005, № 1. - С. 27-35.
4. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. В 2-х томах. Под общ. ред. А.Г. Сулова. — М.: Машиностроение, 2014.
5. Афонин, А.Н. Гетерогенное упрочнение деталей горно-металлургических машин поверхностным пластическим деформированием [текст] / А.Н. Афонин, А.И. Ларин, А.В. Макаров // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2015. Том 58. № 11. - С. 823 – 828.
6. Mohammadi, F. Finite element analysis and design optimization of low plasticity burnishing process [текст] / F. Mohammadi, R. Sedaghati, A. Bonakdar // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, February 2014, Volume 70, Issue 5-8, Pp 1337-1354.
7. Киричек, А.В., Резьбонакатывание. Библиотека технолога [текст] / А.В. Киричек, А.Н. Афонин. - М.: Машиностроение, 2009. – 312 с.
8. Лапин, В.В. Накатывание резьб, червяков, шлицев и зубьев [текст] / В.В. Лапин, М.И. Писаревский, В.В. Самсонов, Ю.И. Сизов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1986. – 228 с.

АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОЙКОСТИ К АБРАЗИВНОМУ ИЗНАШИВАНИЮ

Владимиров А.А., Шаповалов А.И., Леонов С.Д., Болотских А.С.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
tomn_sti_misis@mail.ru*

***Аннотация.** Дана сравнительная характеристика распространенных типов установок для проведения испытаний на устойчивость материалов абразивному износу. Сформулирован перечень требований к проектированию лабораторного оборудования для исследования устойчивости к абразивному износу.*

Ключевые слова: абразивный износ; стойкость к абразивному истиранию; методы исследования.

ANALYSIS OF KNOWN METHODS FOR STUDYING DURABILITY TO ABRASIVE WEAR

Vladimirov A.A., Shapovalov A.I., Leonov S.D., Bolotskikh A.S.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

***Abstract.** A comparative characteristic of common types of installations for testing materials for resistance to abrasive wear is given. A list of requirements for designing laboratory equipment for studying resistance to abrasive wear is formulated.*

Keywords: abrasive wear; abrasion resistance; research methods.

Эффективность оборудования зависит от остановок на плановый ремонт, обусловленный износом оборудования. Детали и механизмы, подверженные повышенному износу, имеют короткий срок эксплуатации, что существенно снижает производственные мощности.

Сущность испытаний на абразивный износ заключается в том, что между вращающимся диском (цилиндром) и испытываемым образцом подается песок (абразив). При этом цилиндр прижимается к образцу, абразив, попадая в зазор, изнашивает испытываемый образец. Износ образца обычно оценивается по изменению веса испытываемого образца.

Сравнивая методики и схемы по исследованию абразивного изнашивания, мы получим их сравнительную характеристику, а также их преимущества, и недостатки. Это позволит нам выбрать подходящий для нас метод и схему.

Целью данной работы является создание эскизного проекта установки для проведения испытаний на устойчивость материалов абразивному износу. В дальнейших работах планируется проведение испытаний на износ по схеме Бринелля-Ховарта и сравнение полученных результатов с экспериментами, проведенными на синтезированной установке.

Первы рассмотрим испытания на износ по методу Бринеллю.

Отличительной чертой испытаний по схеме Бринелля это металлический диск. Так же здесь используется абразив определенной зернистости.

Детальное исследование факторов, влияющих на результаты испытаний по схеме Бринелля, изложено в работе [1].

К недостаткам при этом методе испытания можно отнести то, что износостойкость одного и того же материала зависит от свойства истирающего диска, а для разных испытуемых материалов и дисков от соотношения их твердостей.

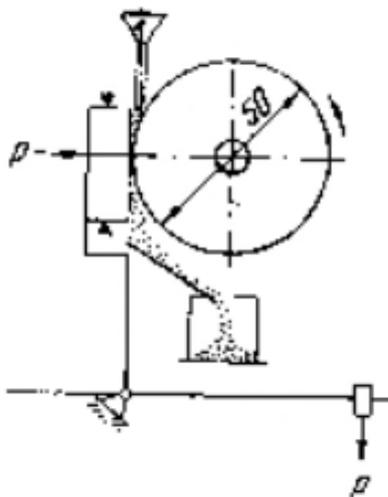


Рис. 1 – Схема испытаний по методу Бринелля

Следующий метод испытаний по схеме Бринелля – Ховарта.

В 1949 году Ховарт (США) разработал метод испытания на изнашивание, сходный с методом Бринелля и отличающийся применением резинового диска вместо металлического. Исследование этого метода, проведенное в Институте машиноведения показало, что способ подачи абразива к поверхности трения по Ховарту является неудовлетворительным, поэтому была разработана новая схема, в которой сочетались резиновый диск по Ховарту и подачи

абразива по Бринеллю. Новая схема, показанная на рис. 2 названа Вг - Нv (Бринелль - Ховарт).

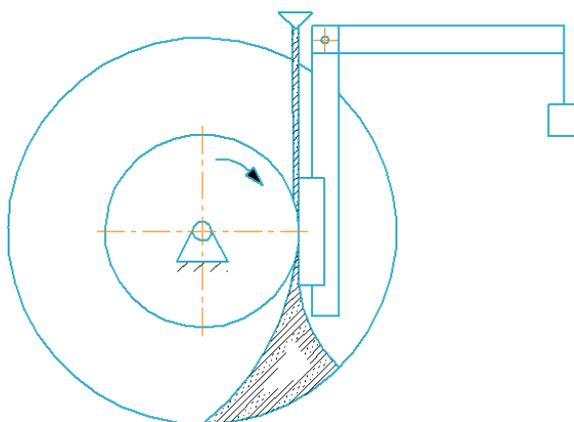


Рис. 2 – Схема испытаний по методу Вг - Нv

Далее рассмотрим схему на абразивный износ с помощью резинового колеса и сухого песка (ASTM G-65-83). В соответствии с этим стандартом проводят испытания, аналогичные регламентированным ГОСТ 23.208–79 «Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы». Отличие в том, что вместо резинового ролика применяют колесо, покрытое хлорбутиловой резиной (рис. 4)

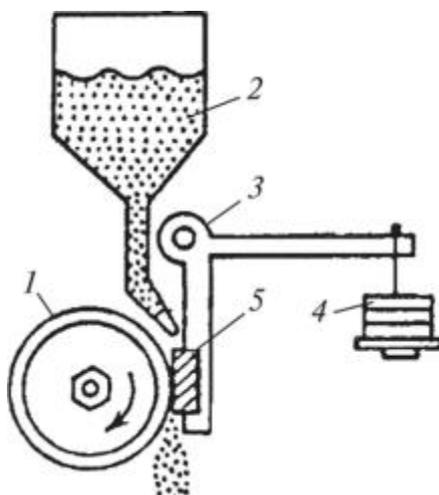


Рис. 4 – Схема испытаний на износ по резине с сухим абразивом: 1 – резиновое колесо; 2 – абразив 3 – рычаг; 4 – груз; 5 – образец

Следующей рассмотрим установку «ИМ–01», которая работает по схеме согласно ГОСТ 23.208-79.

В этой схеме подробно представлен механизм подачи абразива.

Но основной недостаток этой схемы заключается в ее открытой конструкции, что создает большой шум и запыленность возле нее.

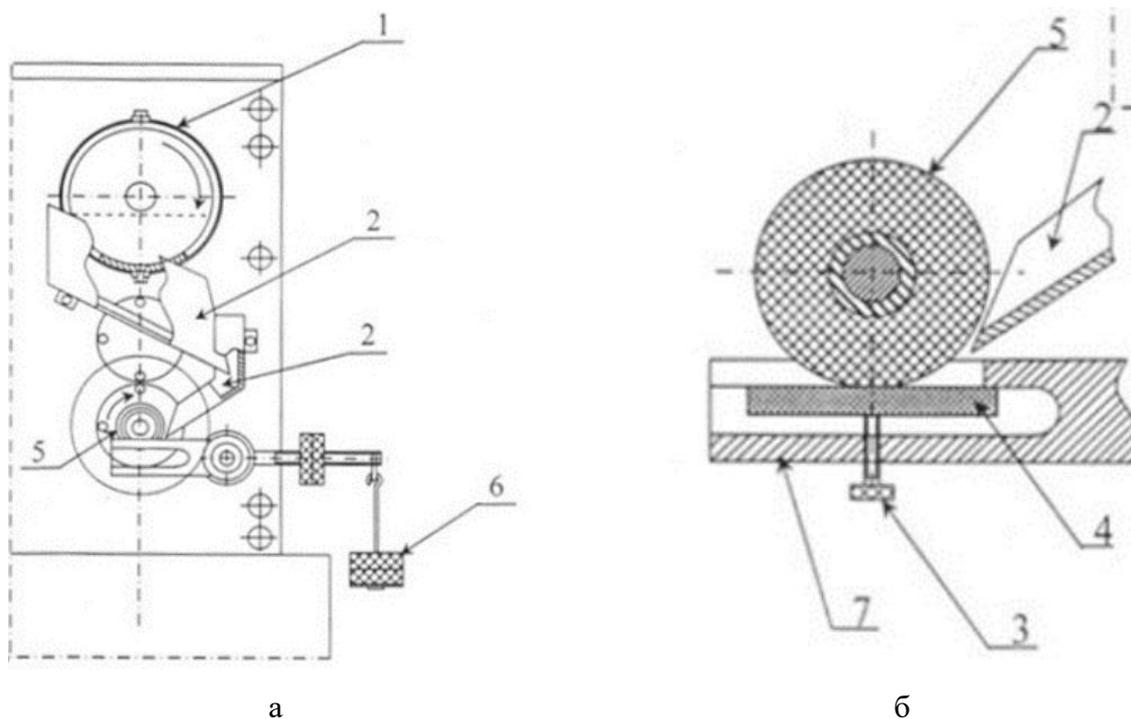


Рис. 4 – Установка «ИМ–01»: а – схема устройства; б – вид в рабочей зоне: 1 – барабан с абразивом; 2 – желоб; 3 – винт; 4 – испытуемый образец; 5 – эластичный ролик; 6 – груз; 7 – держатель

Метод исследования износостойкости по схеме разрабатываемой установки лаборатории СТИ НИТУ «МИСИС»

Главное отличие от установки Бринелля-Ховарта заключается в том, что абразив не подается сверху, а поднимается в камере резиновым колесом, у которого имеются радиальные вырезы, расположенные по периферии. Абразив в данном случае может быть уже не однократно использованным, а также иметь частицы самого исследуемого образца.

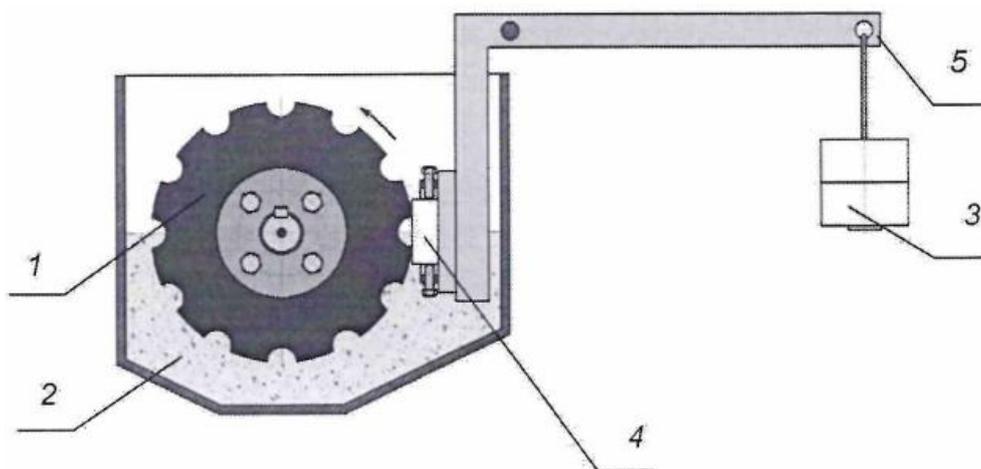


Рис. 5 – Схема испытаний разработанная в лаборатории СТИ НИТУ «МИСИС»

Проанализировав существующие методы испытаний на абразивный износ, можно выделить их достоинства и недостатки.

Основным достоинством установки разработанной в лаборатории СТИ НИТУ «МИСИС» то, что она моделирует реальные условия эксплуатации так как абразив может быть не однородной и разной фракции в отличии от имеющихся методов. Как недостаток этой схемы можно выделить что абразив может быть уже достаточно много использованным и иметь большое количество различных включений. К ним можно отнести частицы самого образца и истирающего колеса.

Что бы избавиться от этих недостатков необходимо часто менять абразив и проводить проверку состояния колеса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. – М.: Наука, 1970. – 251 с.
2. Куксенова Л.И., Лантева В.Г., Колмаков А.Г., Рыбакова Л.М. Методы испытаний на трение и износ. – М.: Интермет, 2001. – 152 с.
3. Комбалов В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов / Справочник. М.: Машиностроение, 2008. – 384 с.
4. Добровольский А.Г., Кошеленко П.И. Абразивная износостойкость материалов. К.: Техника, 1989. – 128 с.

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ УПРОЧНЕНИЕМ РЕЗЬБ ДЕТАЛЕЙ ВИНТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ИМПУЛЬСНОЙ ОБКАТКОЙ РОЛИКОМ

Мартынов Е.М.¹, Романенко Д.Н.², Гаевой А.П.¹

¹Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС»
309516, Россия, Белгородская область, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42,
tomn_sti_misis@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 доб. 242

²Филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» в г. Губкине Белгородской
области
309186, Россия, Белгородская область, г. Губкин, ул. Комсомольская, д. 16
gf@misis.ru, +7 (47241) 5-51-83

***Аннотация.** В работе отмечено, что повысить эксплуатационные характеристики резьб деталей технологических машин возможно формированием упрочненного поверхностного слоя поверхностным пластическим деформированием. Рассмотрены подходы формирования гетерогенного упрочнения импульсной обкаткой роликом.*

Ключевые слова: упрочнение; импульсная обкатка роликом; твердость; упрочненный слой; износостойкость.

INCREASING THE SERVICE LIFE OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT BY STRENGTHENING THE THREADS OF SCREW MECHANISM PARTS BY PULSED ROLLER RUNNING-IN

Martynov E.M.¹, Romanenko D.N.², Gaevoy A.P.¹

¹Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

²Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** It is noted in the work that it is possible to increase the performance characteristics of threads of technological machine parts by forming a hardened surface layer by surface plastic deformation. Approaches to the formation of heterogeneous hardening by pulsed roller running-in are considered.*

Keywords: hardening; pulsed roller running-in; hardness; hardened layer; wear resistance.

В горнодобывающей и металлургической промышленности широко используется крупногабаритное дорогостоящее оборудование, ресурс работы которого ограничен. Примером подобного оборудования являются обжиговые машины, прокатные станы, дробилки и прочее технологическое оборудование. Одной из основных причин выхода их из строя является износ и деформация наружной и внутренней резьбы. Износ поверхности резьбы происходит по причине попадания в зону трения инородных части неправильной формы с высокой твердостью, а деформация в результате больших ударных нагрузок. К примеру, для монтажа-демонтажа дробилки и замены гаек с деформированной резьбой уходит до 4-х суток, что ведет к простоям оборудования и большим материальным затратам. Периодичность подобного ремонта технологического оборудования, на примере дробилки типа Sandvik на АО «СГОК» в среднем составляет 4 месяца.

Эксплуатационные характеристики деталей машин в значительной степени определяются показателями качества поверхностного слоя их рабочих поверхностей. Существует несколько способов повышения прочности резьбовых деталей: термическое упрочнение, объемный наклеп, поверхностный наклеп, различные виды термомеханической обработки и т.д.

Известно, что одним из наиболее эффективных видов упрочнения является поверхностное пластическое деформирование (ППД) [1, 2]. ППД обеспечивает значительное повышение усталостной прочности при разнообразных условиях нагружения. Сущность способа заключается в следующем: под давлением деформирующего инструмента микровыступы (микронеровности) поверхности детали пластически деформируются (сминаются), заполняя микровпадины обрабатываемой поверхности, что способствует повышению твердости поверхностного слоя. Более того, в поверхностном слое возникают благоприятные сжимающие напряжения, что способствует повышению усталостной прочности на 30...70%, износостойкости в 1,5...2 раза, значительно снижается шероховатость поверхности упрочняемой детали.

К наиболее распространенным способам упрочнения ППД относятся:

- обкатка рабочих поверхностей шариками или роликами;
- алмазное выглаживание;
- дробеструйная обработка;
- ультразвуковое упрочнение;
- упрочнение наклепом;
- импульсная обкатка роликом (ИОР).

Традиционные методы упрочнения ППД не обеспечивают необходимой для тяжело нагруженных резб степени и глубины упрочнения поверхностного слоя крупногабаритных деталей. Решить данную проблему можно применением динамических (ударных) методов ППД, в частности импульсной обкатки роликом [3]. ИОР осуществляется в условиях сочетания периодического динамического и постоянного статического воздействия деформирующего инструмента на обрабатываемую поверхность. Динамическое (ударное) воздействие позволяет создавать большие напряжения в пятне контакта инструмента и заготовки при сравнительно небольшой затраченной мощности, а статический поджим способствует более эффективной передаче ударного импульса в обрабатываемую поверхность. Толщина упрочненного слоя при ИОР может достигать 10 мм и более [1, 3, 4].

Важной особенностью ИОР является возможность формирования поверхностного слоя с гетерогенным упрочнением [5]. Чередование в подобном слое высокоупрочненных участков с высокой твердостью с менее упрочненными вязкими способствует торможению микротрещин и повышению усталостной прочности материала. Равномерность упрочнения зависит от коэффициента перекрытия отпечатков. При небольших значениях коэффициента перекрытия поверхность получается недостаточно упрочненной, а при слишком больших возникает переупрочнение. Необходимое значение коэффициента перекрытия достигается варьированием частоты деформирующих импульсов и скорости подачи. Проведенные экспериментальные исследования показали, что в ряде случаев выбранное рациональное гетерогенное упрочнение может повысить усталостную прочность в 2 и более раза [5 - 7].

Для реализации ИОР резб крупногабаритных деталей может быть использовано различное оборудование: гидравлическое, пневматическое, электрическое и т.д. Для упрочнения резб крупногабаритных деталей горно-металлургического оборудования представляется целесообразным использование электрических ударников. Электрические ударники имеют достаточно высокую энергию удара (более 40 Дж), обеспечивая высокую стабильность параметров ударного импульса на протяжении всей обработки. Стоимость их существенно ниже гидравлического оборудования.

Однако, широкое применение ИОР для упрочнения резб крупногабаритных деталей сдерживается отсутствием научно-обоснованных требований к параметрам упрочненного слоя, обеспечивающим требуемые эксплуатационные характеристики детали [5, 8]. В частности, отсутствуют рекомендации по режимам ИОР резб крупногабаритных деталей, рациональному распределению упрочненных участков по объему рабочей поверхности для различных условий эксплуатации и материалов детали. Выявление характера влияния параметров гетерогенно упрочненного слоя и режимов ИОР на эксплуатационные

характеристики деталей машин является сложной научной задачей, решение которой позволит существенно повысить качество изделий машиностроительного производства.

Анализ научно-технической литературы показывает, что применение ИОР представляется целесообразным для повышения эксплуатационных характеристик крупногабаритных деталей горно-металлургического оборудования, работающих в различных условиях. После проведения операций по упрочнению резьб крупногабаритных деталей периодичность ремонтов оборудования должна сократиться примерно в 2 раза, что даст значительный экономический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Киричек А.В., Афонин А.Н. Резьбонакатывание. Библиотека технолога. - М.: Машиностроение, 2009. – 312 с.
2. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. В 2-х томах / С.К. Амбросимов, А.Н. Афонин, А.П. Бабичев и др. Под ред. А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2014.
3. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Лазуткин А.Г. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием. Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2004. - 288 с.
4. Киричек, А.В. Сравнение твердости резьбовых профилей, полученных пластическим деформированием различными методами [Текст] / Д.В. Бушенин, А.В. Киричек, А.Н. Афонин, И.Б. Кульков // Вестник машиностроения, 1999, №10. - С. 40-43.
5. Киричек А.В., Соловьев Д.Л. Создание гетерогенной структуры материала статико-импульсной обработкой // СТИН, 2007, №12. – С. 28-31.
6. Иванов Г.П., Картонова Л.В., Худошин А.А. Повышение износостойкости деталей созданием регулярной гетерогенной макроструктуры // Строительные и дорожные машины, 1997, № 1. - С. 33-34.
7. Смелянский В.М., Земсков В.А. Технологическое повышение износостойкости деталей методом электроэрозионного синтеза покрытий // Упрочняющие технологии и покрытия, 2005, № 1. - С. 27-35.
8. Киричек, А.В. Моделирование статико-импульсной обработки резьб с помощью метода конечных элементов [Текст] / А. В. Киричек, А. Н. Афонин // Сб. матер. IV междунар. симпозиума «Ударно-вибрационные машины и технологии», Орел: ОрелГТУ, 2010. - С. 135-139.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ ТУГОПЛАВКИХ КОМПОНЕНТОВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ

Новоточинов А.П., Владимиров А.А., Гаевой А.П.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
alexander.nowotochinov@yandex.ru, vladimirov.al.an@yandex.ru, a_gaevoy@list.ru, tomm_sti_misis@mail.ru*

***Аннотация.** Статья посвящена исследованию оптимального соотношения тугоплавких компонентов порошковой проволоки. Представлено описание условий работы металлургического оборудования. Представлены результаты исследований наплавленных слоев.*

Ключевые слова: порошковая проволока; регрессионная модель; нитрид бора; карбид вольфрама; вольфрам; электродуговая наплавка; скорость износа, твердость.

STUDY OF RATIONAL RATIO OF REFRACTORY COMPONENTS OF POWDER WIRE

Novotochinov A.P., Vladimirov A.A., Gaevoy A.P.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

***Abstract.** The article is devoted to the study of the optimal ratio of refractory components of powder wire. The description of the operating conditions of metallurgical equipment is presented. The results of studies of deposited layers are presented.*

Keywords: flux-cored wire; regression model; boron nitride; tungsten carbide; tungsten; electric arc surfacing; wear rate, hardness.

Повышение ресурса работы металлургического оборудования позитивно влияет на увеличение производительности, улучшения качества и снижение себестоимости выпускаемой продукции, что укрепляет конкурентоспособность предприятия на внутреннем и международном рынках.

Одной из основных расходных статей для поддержания жизнедеятельности любого производства являются затраты, связанные с ремонтом машин и агрегатов и обеспечение их запасными деталями и узлами [1].

В решении задачи значительного уменьшения затрат, связанных с ремонтом металлургического оборудования, большую помощь оказывают технологии восстановительной и упрочняющей наплавки.

Бесперебойная работа рольганга во многом зависит от качества применяемых роликов. Условия эксплуатации роликов рольганга относятся к экстремальным: высокие механические нагрузки и быстротечные процессы нагрева и охлаждения рабочей поверхности, приводящие к термоусталостному растрескиванию и последующему разрушению.

Для снижения затрат, связанных с ремонтом роликов рольганга, особенно эффективны технологии восстановительной и упрочняющей наплавки.

Целью данной работы является определение оптимального соотношения тугоплавких компонентов порошковой проволоки для повышения стойкости рабочей поверхности ролика рольганга при работе в условиях адгезионного изнашивания.

В качестве базовой проволоки для проведения экспериментов была выбрана проволока ASM 4430-SA (производство ООО «АСМ Группа») [1-2]. Химический состав данной проволоки представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав металлической оболочки в %

Железо, Fe	Углерод, C	Марганец, Mn	Кремний, Si	Хром, Cr	Никель, Ni	Молибден, Mo	Ванадий, V
Осн.	0,3	1,3	0,6	14,0	0,4	1,2	0,2

В конечный состав проволоки добавляли следующие тугоплавкие компоненты:

- вольфрам (W) в чистом виде;
- карбид вольфрама (WC);
- гексагональный нитрид бора (BN_Г).

Составы экспериментальных порошковых проволок ASM 4430-SA приведены в таблице 2. Количество вводимого в состав проволоки карбида вольфрама основывалось на данных Такеда [2-4].

Таблица 2 – Химический состав шихты и свойства наплавленных материалов

№	Проволока	Хим. состав шихты %			Скорость износа, W, 10 ⁻⁶ мм ³ · Н ⁻¹ · м ⁻¹	Твердость, HRC*
		W	WC	BN _Г		
1	АСМ 7	-	3	-	6,84	35,9 ± 3,5
2	АСМ 8	-	6	0,1	6,16	45,1 ± 3,7
3	АСМ 9	-	10	0,2	2,16	45,9 ± 1,7

4	АСМ 10	-	6	0,3	2,66	46,6 ± 2,1
5	АСМ 11	-	10	0,4	2,72	51,5 ± 2,3
6	АСМ 12	4,5	-	0,5	3,55	51,2 ± 2,3
7	АСМ 13	7,0	-	1,0	1,05	49,8 ± 1,8
8	АСМ 14	5,0	4,3	0,3	1,88	52,0 ± 1,3

* Показание твердомера 60,0 HRC на контрольном сертифицированном образце 61,1 HRC

Экспериментальную шихту готовили в смесителе «Турбула» С2.0. Частота вращения барабана составляла 35-50 об/мин, время смешивания – 5 ч.

Наплавка производилась на установке автоматической наплавки под слоем флюса модели УСН 60-550/1400 SAW. Перед наплавкой, образцы нагревали до температуры 250°C, при этом выдержка была 2 часа.

Для получения однородного химического состава наплавку образцов осуществляли в три слоя под керамическим флюсом. Флюс использовали – керамакс марки UF-02. Наплавка производилась на торцы цилиндрических образцов размером – Ø80×20 мм, сталь 30ХГСА. На наплавочной установке использовался следующий режим наплавки: сила тока $I = 240-250$ А, напряжение $U = 26-27$ В, скорость подачи порошковой проволоки $V = 9-10$ м/час.

После наплавки порошковой проволоки, проводился отпуск. Отпуск осуществлялся с нагревом образцов до 450 °С и выдержкой 180 мин, скорость охлаждения $V_{\text{охл.}} < 50^\circ\text{C}/\text{час}$ до $T = 40$ °С, далее на открытом воздухе (комнатная температура).

После чего образцы подвергали механической обработке на металлографическом станке.

Трибологические свойства образцов оценивали в соответствии с международными стандартами ASTM G 99-959 и DIN 50324 на высокотемпературной машине трения «High-temperature Tribometer» (рис. 1) [4]. В качестве контртела применяли шарик из Al_2O_3 диаметром 6 мм. Температура эксперимента составляла 500 °С.

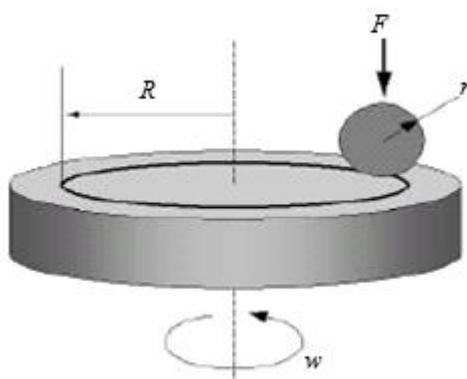


Рис. 1 – Схема проведения эксперимента

Подготовку шлифов осуществляли в автоматическом режиме на полировальной машине.

Твердость образцов с наплавленными слоями измеряли по методу Роквелла по ГОСТ 9013-59 на твердомере Метолаб 101 по методу РОКВЕЛЛА.

На начальном этапе необходимо было определить оптимальное значение тугоплавких компонентов.

Комбинируя тугоплавкие компоненты: (W), (WC) и (BNг), были разработаны некоторые виды порошковых проволок с разным соотношением тугоплавких компонентов [6].

По итогу исследований наплавленного слоя разными марками порошковой проволоки были получены следующие показатели скорости износа и твердости, которые представлены в таблице 2.

Анализируя представленные результаты, очевидно первое, что отсутствует пропорциональное изменения скорости износа и твердости в зависимости от соотношения количества тугоплавких компонентов. Так анализируя, состав проволоки маркой АСМ 7, видно, что из тугоплавких компонентов имеется только карбид вольфрама (WC) в количестве 3 %, при этом скорость износа высокая, а твердость низкая.

Второе, при одновременном добавлении (W), (WC) и (BNг) в разных процентных соотношениях заметно, что прочностные результаты повысились, при этом не наблюдается прямой зависимости.

Исходя из приведенных выше выводов, для оптимизации тугоплавких компонентов в порошковой проволоки необходимо разработать математическую модель, которая с большой долей вероятности покажет необходимое процентное соотношение трех компонентов для получения минимального износа образца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Титаренко В.И., Титаренко А.В., Ткаченко О.В., Голякевич А.А., Орлов Л.Н., Гиук С.П. Наплавочные технологии, оборудование и материалы – эффективный инструмент сокращения расходов на промышленных предприятиях // Сварщик. 2009. №3. С. 22-27.
2. Кудряшов А. Е., Макаров А. В., Владимиров А. А. Повышение стойкости роликов рольганга методом электродуговой наплавки с применением перспективных наплавочных материалов, модифицированных тугоплавкими компонентами // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка: Сборник докладов 12-го Международного симпозиума. В 2-х частях. 2021. С. 123-

127.

3. Соколов Г.Н., Зорин И.В., Артемьев А.А., Литвиненко-Арьков В.Б., Дубцов Ю.Н., Лысак В.И., Харламов В.О., Самохин А.В., Цветков Ю.В. Особенности формирования структуры и свойств наплавленных сплавов под влиянием наночастиц тугоплавких соединений // Физика и химия обработки материалов. 2014. № 2. С. 38-47.

4. Бабинец А.А., Рябцев И.А., Кондратьев И.А., Рябцев И.И., Гордань Г.Н. Исследование термической стойкости наплавленного металла, предназначенного для восстановления прокатных валков // Автоматическая сварка. 2014. № 5. С. 17–21.

РАЗРАБОТКА РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ ТУГОПЛАВКИХ КОМПОНЕНТОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ

Новоточинов А.П., Владимиров А.А., Гаевой А.П.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
alexander.nowotchinov@yandex.ru, vladimirov.al.an@yandex.ru, a_gaevoy@list.ru, tomm_sti_misis@mail.ru*

***Аннотация.** Статья посвящена разработке регрессионной модели, описывающей влияние тугоплавких компонентов на износостойкость наплавленных слоев порошковой проволокой. Представлены результаты экспериментальных исследований наплавленных слоев. Определены основные факторы и функция отклика. Составлено уравнение регрессии. Представлены графики изменения износостойкости наплавленных слоев, рассчитанные по составленному уравнению регрессии.*

Ключевые слова: порошковая проволока; регрессионная модель; нитрид бора; карбид вольфрама; вольфрам; электродуговая наплавка; скорость износа, твердость.

DEVELOPMENT OF A REGRESSION MODEL OF THE INFLUENCE OF REFRACTORY COMPONENTS ON THE WEAR RESISTANCE OF THE DEPOSITED LAYER

Novotochinov A.P., Vladimirov A.A., Gaevoy A.P.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Sary Oskol

***Abstract.** The article is devoted to the development of a regression model describing the effect of refractory components on the wear resistance of layers deposited with flux-cored wire. The results of experimental studies of deposited layers are presented. The main factors and response function are determined. A regression equation is compiled. Graphs of changes in the wear resistance of deposited layers, calculated using the compiled regression equation, are presented.*

Keywords: flux-cored wire; regression model; boron nitride; tungsten carbide; tungsten; electric arc surfacing; wear rate, hardness.

Для повышения конкурентоспособности и спроса машиностроительных и металлургических узлов и агрегатов специалисты прорабатывают ряд мероприятий по снижению себестоимости деталей и узлов. К одним из таких относятся повышение срока службы за счет упрочнения рабочей поверхности.

Для оптимизации химического состава наплавляемой порошковой проволоки необходимо определить химические элементы, которые оказывают наибольшее влияние на повышения прочностных свойств наплавляемого материала.

А.Е. Кудряшов и А.В. Макаров в своих работах ссылаются на некоторые элементы тугоплавких компонентов [1, 2]. Основное направление в работах уделено подбору наилучшего химического состава наплавляемого материала по прочностным показателям (износостойкостью и твердостью) наплавленного слоя. За основу экспериментальных составов порошковой проволоки, была выбрана проволока ASM 4430-SA, состав которой представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав металлической оболочки в %

Железо, Fe	Углерод, C	Марганец, Mn	Кремний, Si	Хром, Cr	Никель, Ni	Молибден, Mo	Ванадий, V
Осн.	0,3	1,3	0,6	14,0	0,4	1,2	0,2

Изменяя модифицирующие компоненты, нанодисперсные порошки вольфрама (W), карбида вольфрама (WC) и гексагонального нитрида бора (BN г.), были получены определенные марки проволоки.

В результате проведения экспериментов, наплавленных образцов по данным проволокам и дальнейшего исследования, были выявлены марки проволоки с наилучшими показателями, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав шихты и свойства наплавленных материалов

№	Проволока	Хим. состав шихты %			Скорость износа, W, $10^{-6} \text{ мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	Твердость, HRC*
		W	WC	BNг		
1	АСМ 7	-	3	-	6,84	35,9 ± 3,5
2	АСМ 8	-	6	0,1	6,16	45,1 ± 3,7
3	АСМ 9	-	10	0,2	2,16	45,9 ± 1,7
4	АСМ 10	-	6	0,3	2,66	46,6 ± 2,1
5	АСМ 11	-	10	0,4	2,72	51,5 ± 2,3
6	АСМ 12	4,5	-	0,5	3,55	51,2 ± 2,3
7	АСМ 13	7,0	-	1,0	1,05	49,8 ± 1,8
8	АСМ 14	5,0	4,3	0,3	1,88	52,0 ± 1,3

* Показание твердомера 60,0 HRC на контрольном сертифицированном образце 61,1 HRC

Анализируя выше представленные результаты исследования наглядно видно, что модифицирующие тугоплавкие компоненты в зависимости от процентного содержания в наплавленном слое оказывают существенное влияние на прочностные свойства материала. Так при добавлении одного карбида вольфрама (WC) в количестве 3 % в состав наплавляющей проволоки, скорость износа ($W=6,84 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$) образца максимальная, а твердость по HRC ($35,9 \pm 3,5$) минимальная.

При одновременном добавлении вольфрама (W), карбида вольфрама (WC) и гексагонального нитрида бора (BN г.) в разных процентных соотношениях видно, что прочностные результаты повысились, но не наблюдается прямой зависимости.

Свойственно не брать в дальнейший расчет проволоку маркой ACM7 и ACM8 так как результаты данных материалов в разы ниже остальных представленных марок.

На основании изученных данных и представленных результатов экспериментов построим математическую модель методом полинома [3]. Анализируя химический состав шихты (проволоки до наплавки) и химический состав материала после наплавки выявлено, что вольфрама (W) переходит в соединение карбида вольфрама (WC). Следовательно, для моделирования разумно будет оставить два фактора:

- X_1 – процентное содержание W+WC %;
- X_2 – процентное содержание BNг %.

В качестве функции отклика Y была принята скорость износа образцов W , $10^{-6} \text{ мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$.

Поиск решения производился в виде полинома второй степени:

$$Y = A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + A_{12}X_1X_2 + A_{11}X_1^2 + A_{22}X_2^2, \quad (2)$$

где $A_0, A_1, A_2, A_{12}, A_{11}, A_{22}$ – постоянные коэффициенты.

По таблице исходных данных (табл. 3) было составлено 6 уравнений (3).

Таблица 3 – Исходные данные для построение регрессионной модели

№ п/п	A_0	A_1	A_2	A_{12}	A_{11}	A_{22}	$Y_{\text{эсп.}}$
1	1	10	0,2	2	100	0,04	2,16
2	1	6	0,3	1,8	36	0,09	2,66
3	1	10	0,4	4	100	0,16	2,72
4	1	4,5	0,5	2,25	20,25	0,25	3,55
5	1	7	1	7	49	1	1,05

6	1	9,3	0,3	2,79	86,49	0,09	1,88
---	---	-----	-----	------	-------	------	------

Уравнения для построения регрессионной модели:

$$A_0 + 10A_1 + 0,2A_2 + 2A_{12} + 100A_{11} + 0,04A_{22} = 2,16 \quad (3)$$

- 1) $A_0 + 6A_1 + 0,3A_2 + 1,8A_{12} + 360A_{11} + 0,09A_{22} = 2,66$
- 2) $A_0 + 10A_1 + 0,4A_2 + 4A_{12} + 100A_{11} + 0,16A_{22} = 2,72$
- 3) $A_0 + 4,5A_1 + 0,5A_2 + 2,25A_{12} + 20,25A_{11} + 0,25A_{22} = 3,55$
- 4) $A_0 + 7A_1 + A_2 + 7A_{12} + 49A_{11} + A_{22} = 1,05$
- 5) $A_0 + 9,3A_1 + 0,3A_2 + 2,79A_{12} + 86,49A_{11} + 0,09A_{22} = 1,86$

Запишем в виде матрицы $Y=X*A$:

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 10 & 0,2 & 2 & 100 & 0,04 \\ 1 & 6 & 0,3 & 1,8 & 36 & 0,09 \\ 1 & 10 & 0,4 & 4 & 100 & 0,16 \\ 1 & 4,5 & 0,5 & 2,25 & 20,25 & 0,25 \\ 1 & 7 & 1 & 49 & 49 & 1 \\ 1 & 9,3 & 0,3 & 79 & 86,49 & 0,09 \end{pmatrix}; \quad Y = \begin{pmatrix} 2,16 \\ 2,66 \\ 2,72 \\ 3,55 \\ 1,05 \\ 1,86 \end{pmatrix}$$

Решая данную матрицу методом Гаусса, получаем постоянные коэффициенты (табл.

4):

Таблица 4 – Постоянные коэффициенты

A_0	A_1	A_2	A_1A_2	A_{11}	A_{22}
22,72	-4,622	-15,7	1,742	0,253	1,848

Модель с учетом всех коэффициентов приняла следующий вид:

$$Y = 22,72 - 4,62X_1 - 15,731X_2 + 1,742X_1X_2 + 0,253X_1^2 + 1,848X_2^2, \quad (4)$$

По уравнению модели (3) были произведены вычисления расчетных функций отклика $Y_{расч}$ и сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Проверка адекватности модели

№ п/п	$Y_{эксп}$	$Y_{расч}$	ΔY	$S_{ад}^2$
1	2,16	2,212	0,052	0,0028

2	2,66	2,679	0,019	0,0019
3	2,72	2,771	0,051	0,0007
4	3,55	3,560	0,010	0,0007
5	1,05	1,074	0,024	0,0013
6	1,88	1,925	0,045	0,0007

Проверка адекватности модели показала, что модель адекватна. Все коэффициенты значимые. Таким образом, уравнение модели (4) остается неизменным.

Величина доверительного интервала при коэффициенте Стьюдента $t = 2,57$, для уровня значимости 5%, составила:

$$b_i = \pm t \cdot S_{b_i} = \pm 0,00131, \quad (5)$$

Следовательно, все коэффициенты являлись значимыми. Таким образом, уравнение модели (3) приняло следующий вид.

$$Y = 22,72 - 4,62X_1 - 15,731X_2 + 1,742X_1X_2 + 0,253X_1^2 + 1,848X_2^2, \quad (6)$$

Оптимизация модели движением по градиенту по методу Бокса-Уилсона, предполагает установление величины шагов, которые зависят от величины коэффициента и интервала варьирования для каждого фактора.

Движение по градиенту осуществляли в пределах значений X_1 (от 4 до 8,5, с шагом 0,5) и значений X_2 (от 0,1 до 1,4, с шагом 0,1).

На первом этапе за const брали X_1 (процентное содержание WC, от 4 до 8), в каждом шаге изменяя X_2 (процентное содержание BN г, от 0,1 до 1,4) при этом было выявлены наиболее благоприятные соотношения X_1 и X_2 , при которых функция отклика достигала минимальных значений.

Из анализа результатов расчетов по регрессионной модели, очевидно, что для каждого значения фактора X_1 существует определенный диапазон значений фактора X_2 , который обеспечивал низкую скорость износа в диапазоне от 0,011 до 1,89.

Движение по градиенту для проволоки с содержанием $W+WC > 8\%$, по результатам расчета регрессионной модели для дальнейших исследований было нецелесообразным, ввиду увеличения скорости износа. Таким образом, по расчетам регрессионной модели был определен диапазон оптимальных значений процентного содержания $W+WC$ от 4% до 7,5%.

Таким образом, из анализа графика, представленного на рис. 1, наблюдается, что оптимальное соотношение тугоплавких компонентов W+WC и BNг находятся в трех областях значения. При W+WC = 4,5, BNг от 1,3 до 1,4%, при W+WC = 5,5, BNг от 1,2 до 1,4 %, при W+WC = 7,5, BNг от 0,5 до 0,9%. Минимальное значение BNг принимаем по расчетам регрессионной модели, а максимальное значение исходя из химических особенностей компонента.

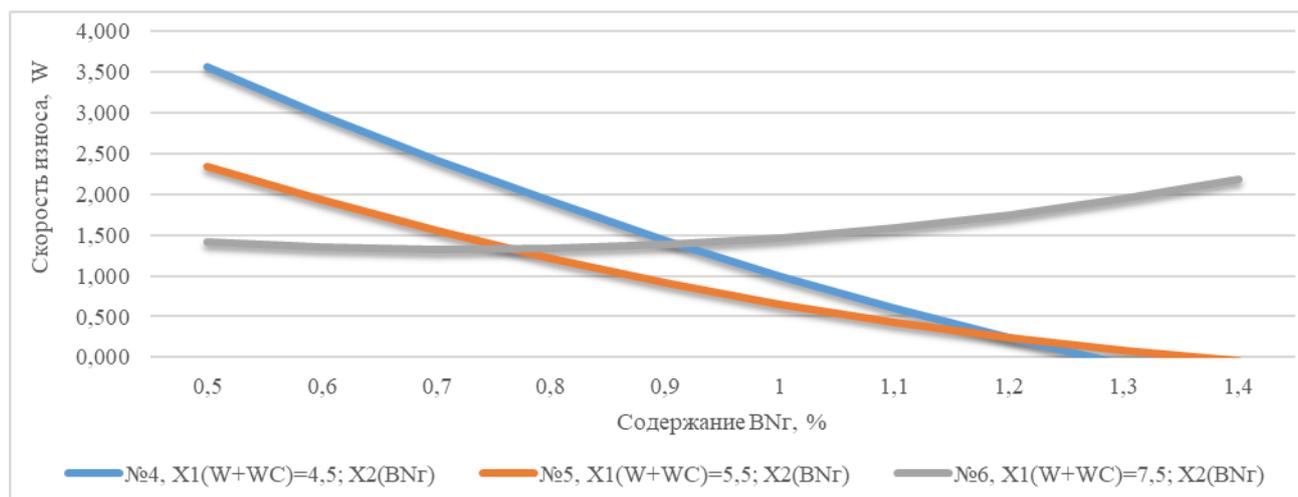


Рис. 1 – Совмещенный график зависимости скорости износа от BNг, при W+WC =4,5; 5,5; 7,5

Таким образом, проведенные комплексные исследования влияния вольфрама (W), карбида вольфрама (WC) и гексагонального нитрида бора (BN г.) на механические свойства изучаемой детали позволили разработать математическую модель, устанавливающую зависимость скорости износа образца от определенного соотношения вводимых химических элементов.

Анализ математической модели и расчет «мысленных» опытов позволили определить пути дальнейших исследований и сформулировать необходимые условия для оптимального соотношения процентного содержания тугоплавких компонентов, что предположительно позволит добиться снижения скорости износа образца и повысить его стойкость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Кудряшов А. Е., Макаров А. В., Владимиров А. А. Повышение стойкости роликов рольганга методом электродуговой наплавки с применением перспективных наплавочных материалов, модифицированных тугоплавкими компонентами // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка: Сборник докладов 12-го Международного симпозиума. В 2-х частях. 2021. С. 123-127.

2. Соколов Г.Н., Зорин И.В., Артемьев А.А., Литвиненко-Арьков В.Б., Дубцов Ю.Н., Лысак В.И., Харламов В.О., Самохин А.В., Цветков Ю.В. Особенности формирования структуры и свойств наплавленных сплавов под влиянием наночастиц тугоплавких соединений // Физика и химия обработки материалов. 2014. № 2. С. 38-47.

3. Бабинец А.А., Рябцев И.А., Кондратьев И.А., Рябцев И.И., Гордань Г.Н. Исследование термической стойкости наплавленного металла, предназначенного для восстановления прокатных валков // Автоматическая сварка. 2014. № 5. С. 17–21.

4. Соколов Г.Н., Артемьев А.А., Дубцов Ю.Н., Еремин Е.Н. Влияние азота и частиц карбонитрида титана на структуру и свойства металла системы Fe-C-Cr-Ni-Mo, наплавленного порошковой проволокой // Омский научный вестник. 2018. №2 (158). С. 15-19.

АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОЙКОСТИ К АДГЕЗИОННОМУ ИЗНАШИВАНИЮ

Владимиров А.А., Шаповалов А.И., Пищулин А.Ю., Буряк Н.О.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
tomn_sti_misis@mail.ru*

***Аннотация.** Дано определение адгезионного износу, адгезия тел, перечислены факторы, влияющие на адгезионный износ. Представлено схематичное изображение адгезионного износа и её описание. Описаны методы определения стойкости к адгезионному изнашиванию и сущность данных способов.*

Ключевые слова: стойкость к адгезионному изнашиванию; адгезионный износ; адгезия тел; изнашивание; контакт поверхностей; стойкость.

ANALYSIS OF KNOWN METHODS OF STUDYING RESISTANCE TO ADHESION WEAR

Vladimirov A.A., Shapovalov A.I., Pishchulin A.Yu., Buryak N.O.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

***Abstract.** The definition of adhesive wear, body adhesion, and the listed factors influencing adhesive wear are given. A schematic representation of adhesive wear and its description are presented. Methods for determining resistance to adhesive wear and the nature of the data are described.*

Keywords: resistance to adhesive wear; adhesive wear; adhesion of bodies; wear; surface contact; durability.

В процессе эксплуатации оборудования, деталей машин и узлов, их рабочие части контактируют друг с другом, результатом их контактирования является износ который приводит к стиранию их основных элементов т.е. основная причина потери работоспособности оборудования, деталей машин и узлов.

Так же на надежность и долговечность составных частей влияет износостойкость покрытия материала контактирующих поверхностей.

В настоящее время в промышленности существует проблема создания износостойких покрытий для деталей машин работающих при различных нагрузках и средах.

Испытание на адгезионный износ проводят с целью определение качества износостойкого покрытия при адгезионном износе.

Данная теория посвящена изнашиванию, которое представляет собой процесс деформации и разрушения поверхностных слоев, происходящих в результате механического взаимодействия микронеровностей при скольжении одного тела по-другому. Сближение шероховатых поверхностей приводит как к контакту микронеровностей, так и к взаимному проникновению микровыступов одной из поверхностей во впадины другой.

В связи с различной высотой микронеровностей контактирующие микровыступы нагружаются по-разному, поэтому одни из них испытывают упругие деформации, другие – пластические. При относительном перемещении трущихся поверхностей имеют место все известные виды деформаций – смятие, сдвиг, изгиб.[1] Одним из таких видов изнашивания является адгезионный износ.

Возникает в условиях трения, когда два гладких тела скользят друг по другу и частицы материала, вырванные с одной поверхности, прилипают к другой (см. рис. 1.). Этот вид износа имеет место, когда атомы контактирующих поверхностей входят в близкий контакт. На площадях контакта при скольжении поверхностей всегда существует вероятность того, что из-за адгезионных сил разрушение этого контакта происходит не по первоначальной поверхности раздела одного материала, а внутри него. Так же в местах с критическими нагрузками образуются так называемый «мостик сварки».[1]

Адгезионный износ опасен тем что может привести к резкой остановке движущихся частей и выходу из строя оборудовании.

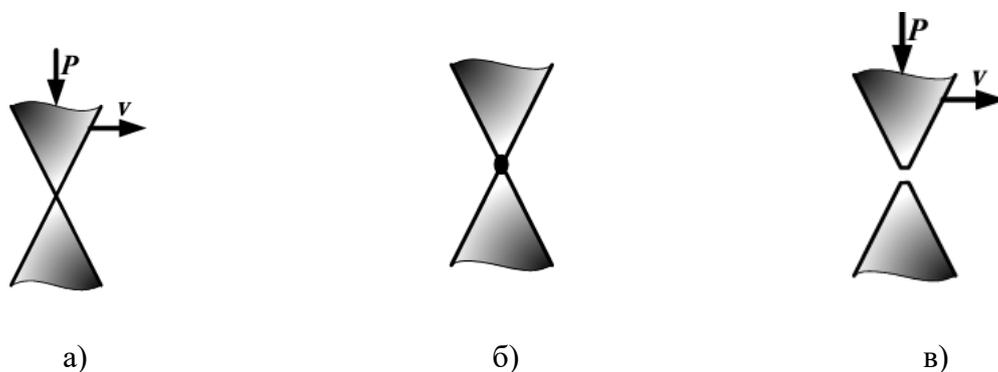


Рис. 1 – Схема образования и разрушения мостиков сварки: а – контакт микровыступов; б – мостика сварки; в- разрыв мостика сварки; P – нагрузка; v – скорость относительного перемещения

Адгезионный износ возникает в подшипниках скольжения, коленчатые валы, оси, пальцы ковшевых цепей и прочие изделия, работающие в агрессивных условиях. [2]

Каждый фактор износа влияет на снижение эксплуатационных и технических показателей оборудования, детали машин или узлов.

Выделяют следующие факторы адгезионного износа:

1. Неравномерное распределение нагрузок по двум контактирующим металлическим поверхностям.
2. Наличие в контактирующих поверхностях сколов, трещи.
3. Скорость контактирующих поверхностей.
4. Высокое давление и температура в площади контакта поверхностей.

Адгезия тел – сцепление поверхностей разнородных твердых или жидких тел. Когда поверхности твердых тел сближены на расстояние, достаточное для реализации атомно-молекулярных взаимодействий, между ними возникают силы притяжения, вызывающие их прилипание, т.е. адгезию. Это расстояние очень мало, и сближение тел на расстояние действия адгезионных сил, обеспечивающих их прочное сцепление, осуществляется прежде всего в зоне пластических деформаций. Адгезия измеряется с помощью адгезиметров, их конструкция зависит от метода измерения. [3]

Для испытаний на адгезионный износ используют установку с системой STM фирмы Walter+Bai AG (см. рис. 2). Это электромеханическая испытательная установка с центральным приводом с регулируемой скоростью и высокоточным датчиком силы используются для определения характеристик адгезии термически напыленных покрытий в соответствии со стандартом EN 15340 при двух различных типах адгезии: сдвига, растяжения или отрыва с максимальным усилием 20 кН.

Испытание используется для оценки влияния основного материала и напыляемого материала, подготовки поверхности заготовки перед напылением и условий напыления на адгезионную прочность термически напыленных покрытий.

При выполнении испытания на адгезию прочность покрытия измеряется в различных плоскостях: тестируется адгезия системы покрытия к подложке, а также тестируется адгезия слоев покрытия друг к другу (при наличии более одного слоя покрытия). В обоих случаях выполняется проверка прочности сцепления покрытия, или связь слоев друг с другом и подложкой. Также при проведении испытания на адгезию одновременно тестируется внутренняя прочность каждого слоя покрытия. Образец/покрытие загружают параллельно поверхности раздела покрытие/подложка. [4]



Рис. 2 – Установка для испытания на адгезионный износ

Данный способ реализуют используя, ультразвуковой излучатель УЗДЛ-1 М 3, применив излучатель со сменным наконечником 5. Деталь закрепляют в отверстие наконечника путем защелкивания конца детали 1 меньшего диаметра, где имеются прорезы, другой конец наконечника ввертывают в резьбовое отверстие излучателя и фиксируют контргайкой 6. Узел крепления детали помещают в рабочую камеру и проводят испытания. Деталь с покрытиями закрепляют непосредственно на рабочую поверхность ультразвукового излучателя и помещают её в рабочую камеру с жидкой суспензией с абразивом (см. рис. 3). При возбуждении высокочастотных колебаний в жидкости возникают кавитационные процессы, вызывающие эрозию исследуемой поверхности и послойное удаление слоя покрытия до полного его удаления.

В качестве жидкой среды используется дистиллированная вода (H_2O), а в качестве абразива технический мел ($CaCO_3$).

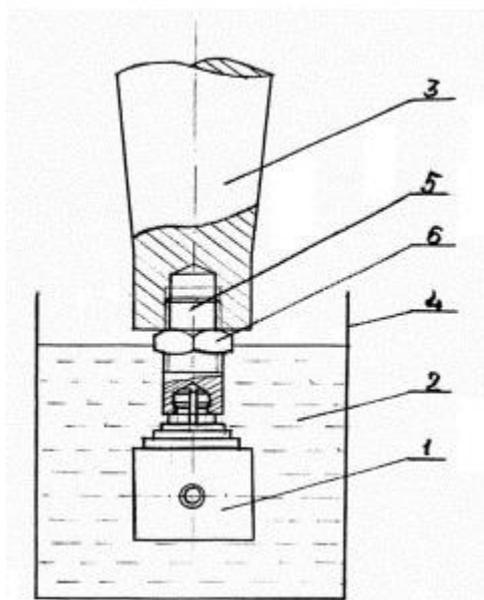


Рис. 3 – Положение детали относительно ультразвукового излучателя с жидкой средой:

- 1 – деталь; 2 – жидкая среда; 3 – ультразвуковой излучатель; 4 – рабочая камера;
5 – наконечник; 6 – контргайка

Технический результат – определения адгезионной прочности покрытий.

Данный метод описан в патенте RU 271260 С1. [5]

На пластики для испытания одинаковой толщины и текстуры окрашиваемой поверхности наносят испытуемый лакокрасочный материал. Цилиндрические заготовки приклеивают непосредственно к поверхности лакокрасочного покрытия с помощью клея. Склеенные образцы после затвердевания клея (высыхания или отверждения) испытывают на отрыв (растяжение), измеряя усилие, необходимое для отрыва покрытия от окрашиваемой поверхности.

Результатом испытания является усилие отрыва, необходимое для нарушения адгезии в испытуемом покрытии. Возможно также смешанное разрушение адгезии. Конструкции разрывного испытательного устройства представлены на (рис. 2.).

Силу отрыва прикладывают в направлении, перпендикулярно к плоскости окрашенной поверхности, и увеличивают с равномерной скоростью не более 1 Мпа/с, чтобы разрушение испытуемого образца произошло в течении 90 с. Данный метод описан в стандарте. [6]

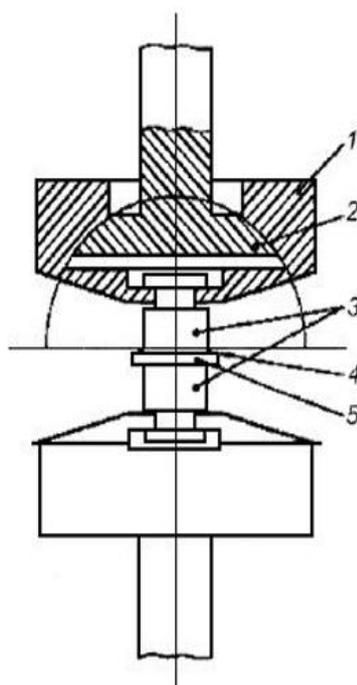


Рис. 4 – Схема изображения разрывного устройства для испытаний: 1 – опора; 2 – шаровое соединение; 3 – заготовки; 4 – лакокрасочное покрытие; 5 – окрашиваемая поверхность

Исходя из вышеизложенного можно сказать, что адгезионный износ является сложным, масштабным явлением и способы её определения зависят от метода испытания, и в конечном результате мы получаем стойкость материала к адгезионному изнашиванию в зависимости от метода стойкость будет отличаться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Чеботарев М. И., Кадыров М. Р. / Выбор оптимального способа восстановления изношенной поверхности детали. Учебное пособие – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2016 — 8,10,14 с.
2. Яцюк. Е.А. / Виды отказов металлических конструкций. Учебное пособие – Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2015. С. 50.
3. Штефан Ю. В., Зорин В.А. / Основы теории трения и изнашивания. Учебно-методическое пособие к семинарским занятием и лабораторным работам – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, 2023. – 106 с.
4. Шастин В.И., Каргапольцев С.К., Лившиц А.В., Пермяков А.Г., Лгалов В.В. / Способ определения адгезионной и когезионной стойкости металлических покрытий. Патент. Иркутск: Федеральная служба интеллектуальной собственности, 2020. 10 с.
5. ГОСТ 32299-2013. Межгосударственный стандарт определение адгезионного износа методом нанесения лакокрасочных материалов на стальной образец и их фиксация между с собой клеем с последующим отрывом.

АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОЙКОСТИ К ГИДРОАБРАЗИВНОМУ ИЗНОСУ

Владимиров А.А., Шаповалов А.И., Скрипцов Д.Р., Козлов И.Ю.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
tomn_sti_misis@mail.ru*

***Аннотация.** Дана сравнительная характеристика распространенных типов установок для проведения испытаний на устойчивость материалов к гидроабразивному износу. Сформулирован перечень требований к проектированию лабораторного оборудования для исследования устойчивости к гидроабразивному износу. Представлен эскизный проект синтезированной установки для проведения испытаний.*

Ключевые слова: гидроабразивный износ; износостойкость; свободный абразив; гидроабразивная струя; проектирование установки.

ANALYSIS OF KNOWN METHODS FOR STUDYING DURABILITY TO HYDROABRASIVE WEAR

Vladimirov A.A., Shapovalov A.I., Skriptsov D.R., Kozlov I.Y.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

***Abstract.** A comparative description of common types of installations for testing the resistance of materials to water-abrasive wear is given. A list of requirements for the design of laboratory equipment for studying resistance to water-abrasive wear has been formulated. A predesign of a synthesized testing facility is presented.*

Keywords: hydroabrasive wear resistance; wear resistance; free abrasive; hydroabrasive jet; installation design.

Введение

Детали оборудования, приходящие в негодность в следствие гидроабразивного воздействия (коррозия, эрозия, кавитация) встречаются во многих областях промышленности: горнодобывающей, гидроэнергетике, нефтегазовой, судостроении и т. д.

Гидроабразивное изнашивание снижает эффективность работы и срок эксплуатации оборудования: трубопроводы, лопасти и корпуса насосов, измельчающее оборудование,

турбинные установки и пр. В связи с этим возникает проблема адекватной оценки устойчивости к гидроабразивному воздействию выбранных материалов.

Из результатов изучения литературы по исследованию материалов на устойчивость к гидроабразивному износу были выявлены следующие методы проведения испытаний:

- 1) Истирание образцов свободным абразивом в виде суспензии;
- 2) Истирание образцов воздействием гидроабразивной струи.

Целью данной работы является формулировка требований и разработка проекта лабораторной установки на основе сравнительной характеристики представленных методов исследования материалов на устойчивость к гидроабразивному износу.

Сравнительная характеристика

В методике [1] описан порядок проведения испытаний на устойчивость к гидроабразивному изнашиванию с использованием принципа истирания образцов незакрепленным свободным абразивом в виде суспензии. Величина износа определяется по потере массы образца. На рисунке 1 представлена схема установки.

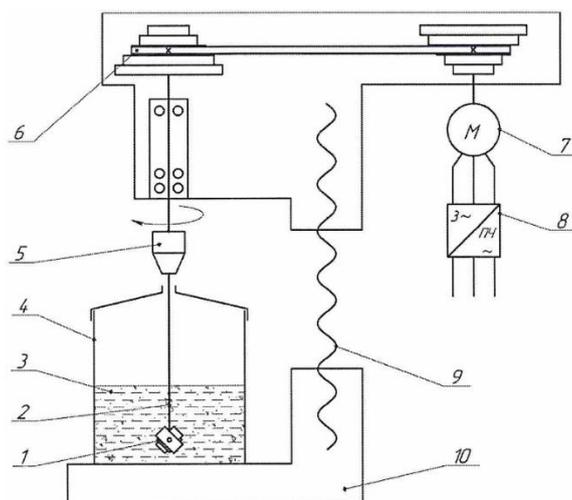


Рис. 1 – Установка для испытаний на устойчивость к гидроабразивному износу:

- 1 – образцы (2 шт.); 2 – державка; 3 – абразивная суспензия, 4 – бак; 5 – шпиндель;
6 – клиноременная передача; 7 – электродвигатель; 8 – пульт управления; 9 – винт;
10 – станина

Установка работает следующим образом. Образцы устанавливаются в державку, закрепленную в шпинделе. Вращение шпинделю с закрепленной державкой передается через клиноременную передачу от двигателя. Подготовленная абразивная суспензия помещается в бак, который установлен на станине. За счет перемещения винта державка с закрепленными образцами опускается в суспензию. Гидроабразивное изнашивание

образцов происходит за счет контакта их поверхности с абразивными частицами и вращения в абразивной суспензии.

В экспериментах А. А. Штерцера и Б. Е. Гринберга [2] описаны результаты испытаний, проведенных на установке, которая работает по принципу воздействия на образец гидроабразивной струи (потока жидкости, смешанной с абразивным материалом).

Установка работает следующим образом. Емкость заполняется жидкостью, в бункер засыпают абразив. Гидроабразивная головка с держателем и испытываемым образцом приводятся в рабочее положение. Включают источник давления, открывают кран подачи абразива в смеситель. В смесителе абразив, поступающий из бункера, смешивается с жидкостью и в виде суспензии подается по трубопроводу в гидроабразивную головку.

На рисунке 2 представлена схема установки.

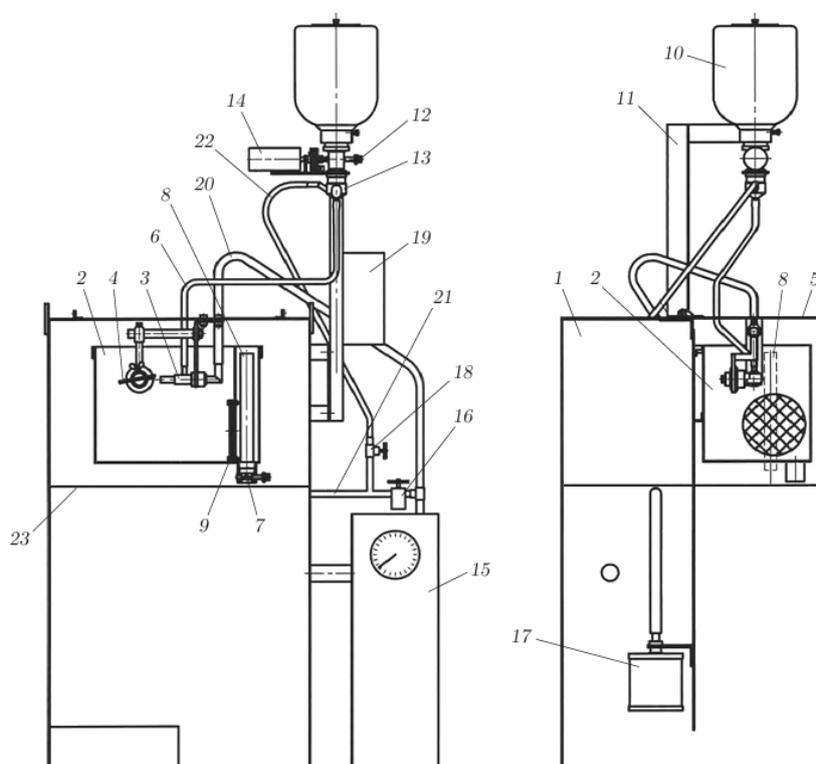


Рис. 2 – Установка для испытаний на устойчивость к гидроабразивному износу:

- 1 – емкость; 2 – контейнер для оседающего абразива; 3 – гидроабразивная головка;
- 4 – образец; 5 – кронштейн; 6 – трубопровод; 7 – вентиль для слива жидкости; 8 – патрубок;
- 9 – сетчатый фильтр; 10 – бункер для хранения абразива; 11 – бак с кронштейном;
- 12 – вентиль для подачи абразива; 13 – смеситель; 14 – привод; 15 – насос; 16 – вентиль для регулирования давления жидкости; 17 – успокоитель; 18 – вентиль для регулирования расхода жидкости; 19 – блок управления; 20, 21, 22 – трубопровод; 23 – уровень жидкости

Конструктивные особенности данной установки предусматривают два метода проведения испытаний: гидроабразивная струя, затопленная гидроабразивная струя.

В результате анализа метода истирания образцов незакрепленным свободным абразивом в виде суспензии были выявлены некоторые особенности, влияющие на его применимость для исследования устойчивости материалов к гидроабразивному износу:

- результаты экспериментов адекватны для оценки износостойкости оборудования, используемого в различных областях промышленности;

- отсутствие возможности с достаточной точностью определить концентрацию абразивных зерен в зоне контакта жидкости с поверхностью образца в связи с оседанием части абразива на дне емкости;

- отсутствие возможности с достаточной точностью определить скорость встречи абразива с поверхностью образцов, т. к. при вращении шпинделя скорость перемешивания слоев жидкости неравномерна;

- отсутствие возможности моделировать атаку абразивных частиц под различным углом относительно поверхности образца, т. к. оборудование подразумевает единственный вариант закрепления образцов, который зависит от конструктивных особенностей установки.

Ниже представлены отличительные особенности метода исследования износостойкости материалов воздействием гидроабразивной струи на образец:

- ограниченная область применения, связанная с особенностями реализуемого на установке механизма износа;

- возможность контроля и изменения давления и угла атаки потока гидроабразивной жидкости на поверхность образцов;

- наличие специального оборудования требует дополнительной квалификации рабочего персонала, что создает трудности в эксплуатации, обслуживании и ремонте установки.

Сравнительный анализ показал наличие общих черт у описанных методов исследования износостойкости:

- универсальность применения установки для испытания различных материалов;

- результаты экспериментов воспроизводимы и адекватны для сравнения;

- возможность контроля и изменения характеристик жидкости (концентрации и размера абразивных зерен; скорости; агрессивности рабочей среды).

По результатам сравнительной характеристики методов исследования принято решение реализовать в проекте лабораторной установки принцип истирания образцов незакрепленным свободным абразивом в виде суспензии. Данное решение обусловлено наличием особенностей метода: простота реализации; широкая область применения.

На рисунке 3 представлен эскиз проектируемой установки.

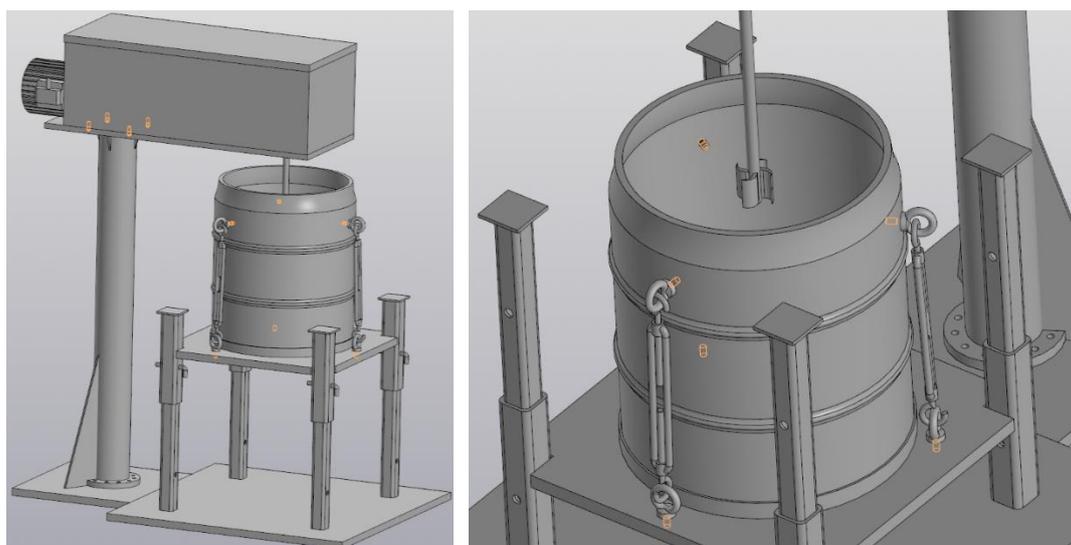


Рис. 3 – Эскиз проектируемой установки

Основные компоненты установки: плита-основание, направляющие трубы, плита-подъемник, емкость, приводная часть (см. Рисунок 4), смеситель.

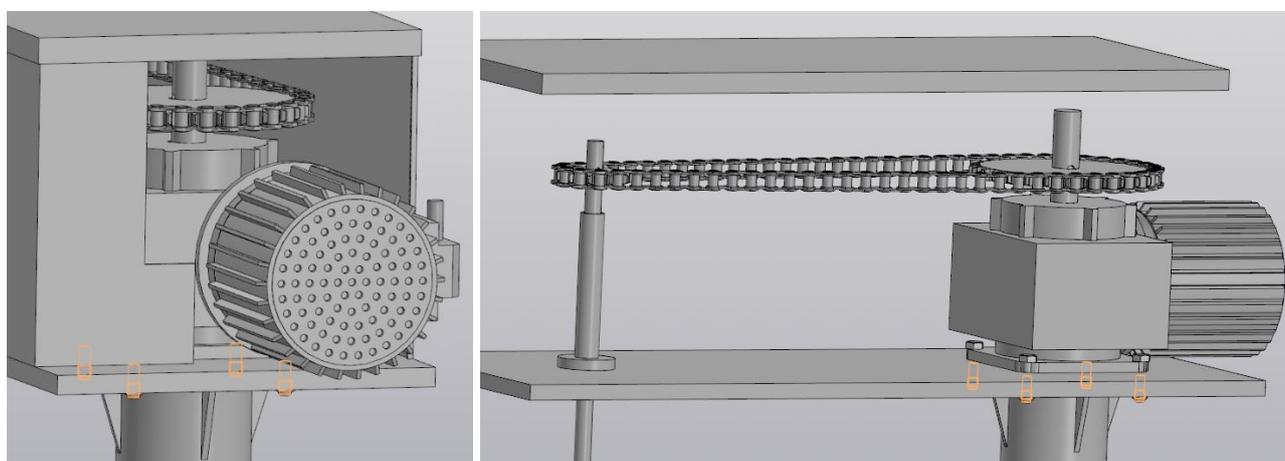


Рис. 4 – Эскиз приводной части установки

Сформулирован перечень требований к проектированию лабораторной установки для проведения испытаний материалов на устойчивость к гидроабразивному износу:

- 1) Конструкция установки должна удовлетворять принципам технологичности, надежности, экономичности;
- 2) Компоненты установки должны быть стандартизированы, взаимозаменяемы;
- 3) Установка должна быть ремонтпригодной и удобной в обслуживании.

Для достижения поставленной цели предполагается разработать следующие конструктивные особенности проектируемой лабораторной установки:

- кинематическая схема установки основана на неподвижном расположении приводного узла, состоящего из червячного мотор-редуктора и цепной передачи;
- для обеспечения плавного погружения державки с образцами в жидкость предполагается возможность регулирования высоты подъема емкости при помощи домкрата;
- возможность регулирования угла атаки потока гидроабразивной жидкости.

Выводы

- 1) Получена сравнительная характеристика методов исследования стойкости материалов к гидроабразивному изнашиванию;
- 2) Приведен список требований к проектированию лабораторной установки;
- 3) Объяснены конструктивные особенности проектируемой установки;
- 4) Представлен эскиз установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Штерцер А. А., Гринберг Б. Е. Прикладная механика и техническая физика // Воздействие гидроабразивной струи на материал: гидроабразивный износ // – 2012. – С. 191-194.
2. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; Под общ. Ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение. 2003. 576 с.
3. Гаркунов Д.Н. Триботехника. Износ и безызносность. М.: Изд. МСХА, 2001. 616 с.
4. Гаркунов Д.Н., Бондюгин В.Н., Быченков В.И. Вопросы и ответы по триботехнике // Эффект безызносности и триботехнологии. 1992. № 1. С. 55–69.
5. Гриб В.В., Лазарев Г.Е. Лабораторные испытания материалов на трение и износ. М.: Наука, 1968. 141 с.

АЛГОРИТМ АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД

Сайдаминов И.А.

*Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
(ГФ НИТУ «МИСИС»)*

***Аннотация.** Рассматриваются схемы технологических линий по переработке вскрышных пород, а также выбор соответствующего оборудования для которых исходными данными являются физико-механические характеристики пород, их гранулометрический состав, содержание в них загрязняющих примесей, требования к качеству целевого продукта и производительность линии по готовому продукту. Формируется совокупность альтернативных вариантов технологических линий с определенным набором перерабатывающего оборудования, причем выбор оборудования должен производиться с учетом требуемого качества получаемого продукта после каждой операции переработки.*

Ключевые слова: алгоритм; схема; технологические линии; пород; оборудования; переработка; оптимизация; структура; производительность; классификационно-измельчительной оборудовании.

ALGORITHM FOR ANALYZING THE STRUCTURE OF THE TECHNOLOGICAL LINE FOR PROCESSING OVERBURDEN

Saidaminov I.A.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

***Abstract.** The schemes of technological lines for processing overburden rocks are considered, as well as the choice of appropriate equipment for which the initial data are the physical and mechanical characteristics of rocks, their granulometric composition, the content of pollutants in them, the requirements for the quality of the target product and the performance of the line for the finished product. A set of alternative technological lines with a certain set of processing equipment is being formed, and the choice of equipment should be made taking into account the required quality of the product obtained after each processing operation.*

Keywords: algorithm; scheme; technological lines; rocks; equipment; processing; optimization; structure; productivity; classification and crushing equipment.

На начальном этапе создания производства по переработке вскрышных пород должны быть сформулированы задачи и требования к организации этого производства и определены границы, связанные с техническими характеристиками используемого оборудования и материальными возможностями заказчика. При оптимизации схем технологических линий по переработке вскрышных пород и выборе соответствующего оборудования, исходными данными являются физико-механические характеристики пород, их гранулометрический состав, содержание в них загрязняющих примесей, требования к качеству целевого продукта и производительность линии по готовому продукту. Кроме этих требований иногда могут быть заданы дополнительные условия, связанные с конкретными особенностями создаваемого предприятия. В частности, если технологическая линия привязывается к основному производству, т.е. к действующей дробильно-сортировочной фабрике, создавая, тем самым, безотходное или малоотходное производство нерудных строительных материалов и других продуктов, то предпочтителен выбор оборудования, применяемого в основном процессе. Если создаваемое производство по переработке вскрышных пород организуется на отвалах нерудных карьеров, то в этом случае для снижения капитальных затрат предпочтительны такие технологические схемы, которые могли бы быть разработаны на базе имеющегося в наличии оборудования. А если же такового в наличии не имеется, главным критерием создания нового производства будет являться критерий минимизации затрат на осуществление конкретного технологического процесса. Выбор способа переработки вскрышных пород диктуется, в основном, производственными возможностями, видом получаемого целевого продукта переработки, требованиями заказчика по годовой и сезонной поставкам и санитарно-экологическими нормами производства [1]. Организация конкретного производства заключается в определении структуры технологической линии, состава перерабатывающего оборудования и режимов его работы. Принятое решение должно обеспечить получение качественного целевого продукта в необходимом количестве, при этом производство должно иметь максимально возможную прибыль [2].

При оптимизации структуры технологической линии должны сравниваться несколько вариантов ($K > 2$) таких линий определенного назначения, которые бы в равной мере удовлетворяли технологическим требованиям. В результате сопоставления выбирают тот вариант технологической линии, удельные затраты которой на производство единичного объема целевого продукта минимальны.

Блок-схема алгоритма анализа структуры технологической линии по переработке вскрышных пород представлена на рис. 1.

На начальном этапе формируется совокупность альтернативных вариантов технологических линий с определенным набором перерабатывающего оборудования, причем выбор оборудования должен производиться с учетом требуемого качества получаемого продукта после каждой операции переработки. Для принятых альтернативных вариантов технологических линий по уравнениям, приведенным ниже определяются величины массопотоков и гранулометрический состав продуктов переработки на каждой стадии.

$$\beta \cdot \gamma = \alpha \cdot \varepsilon;$$

$$\gamma = \frac{Q_i}{Q_0} \cdot 100;$$

$$\varepsilon = \frac{\beta \cdot (\alpha - V)}{\alpha \cdot (\beta - V)} \cdot 100;$$

$$Q_0 = Q_0^{\text{н}} + Q_0^{\text{п}};$$

$$Q_0^{\text{п}} = \sum q \cdot P_j;$$

$$Q_0^{\text{н}} = Q_0 - Q_0^{\text{п}};$$

где α - содержание основного компонента в первичных отходах, %; γ - выход готовой продукции, %; ε - извлечение компонента в готовом продукте, %; β - содержание компонента в готовом продукте, %; V - содержание компонента во вторичных отходах, %; Q_i - масса выпущенного i -го товарного продукта, Q_0 - масса переработанных отходов, т; q - производительность основного производства по нерудным отходам; P_j - доля отходов для производства продукции j -го вида на конкретном предприятии.

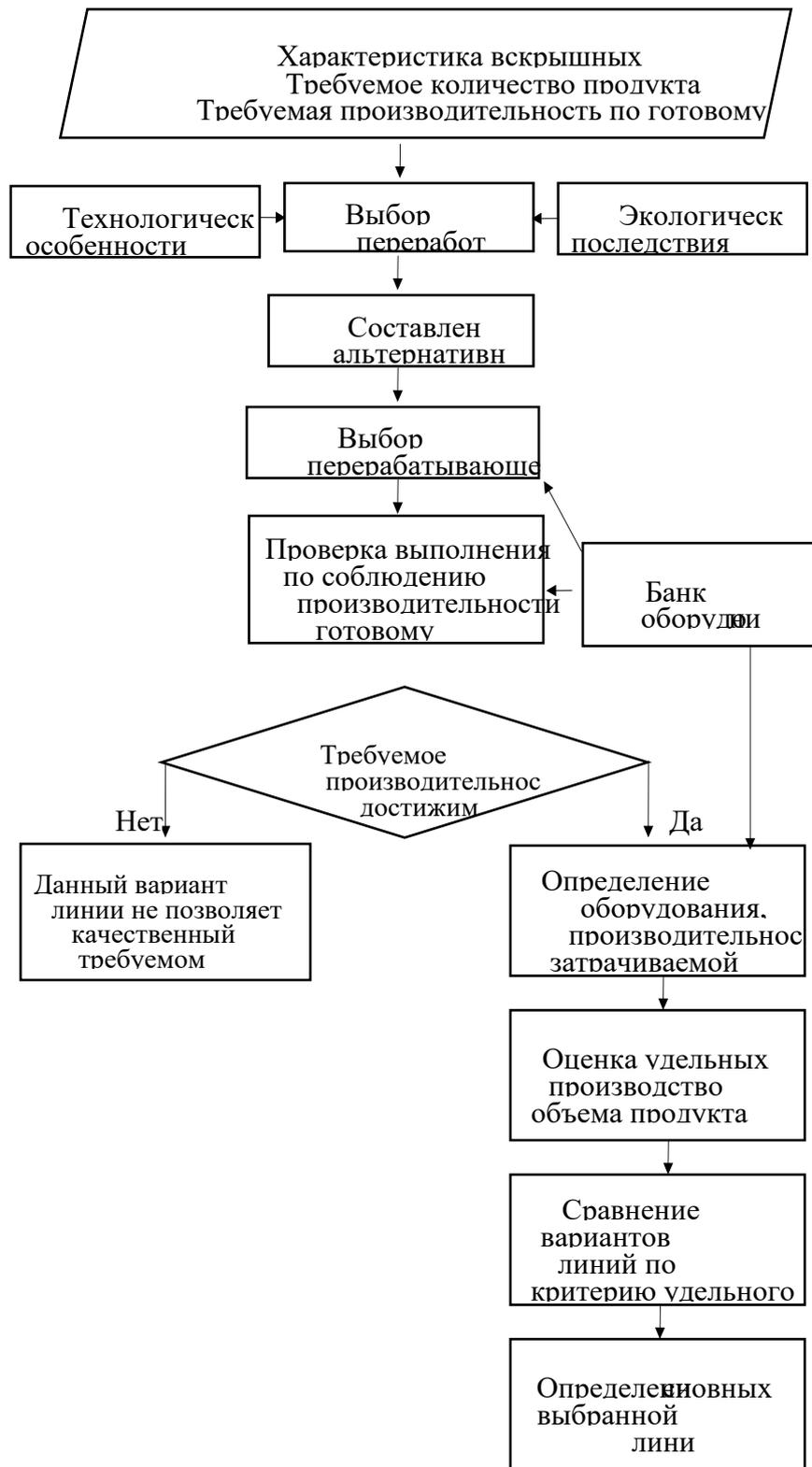


Рис. 1 – Блок-схема алгоритма анализа структуры технологической линии по переработке вскрышных пород

Все схемы технологических линий исследуются на чистоту получаемых продуктов, при этом варианты, не обеспечивающие требуемое качество целевых продуктов переработки, отбрасываются. Комплексы оборудования в отобранных технологических линиях

сравниваются между собой по минимуму затрат с использованием обобщенного критерия удельного действия. При сравнении однотипных технологических линий необходимо определять удельные действия, оценивающие как комплексы оборудования, так и отдельные перерабатывающие машины. Исключается из оценки только то оборудование, которое является общим для сравниваемых систем, например, машины для отделения загрязняющих примесей, транспортные устройства и др. Это позволит определить какое оборудование экономично в смысле затрат механических систем и где есть резервы экономии этих затрат.

Для технологических линий, включающих в свой состав как классификационное, так и измельчительное оборудование, выбор должен начинаться с измельчителей, так как на конечный состав получаемого продукта в значительной мере влияет степень измельчения (изменения состава) исходного материала. В этом случае, если в одной технологической линии возможно применение нескольких типов мельниц или классификаторов, каждая комбинация с различными типами оборудования должна рассматриваться как отдельный вариант.

Для комплектации технологических линий по переработке отходов нерудных карьеров необходимо организовать банк данных, включающий различные типы перерабатывающего оборудования, его конструктивные и режимные параметры, массу машин, производительность - входные данные, а также эффективность классификации, энергоёмкость измельчения и пневмокласификации, удельные действия - выходные данные.

Обработка банка-данных для получения оптимального варианта перерабатывающего оборудования определенного назначения происходит в такой последовательности:

1. **Выбор оборудования.** Применительно к классификационно-измельчительному оборудованию для переработки конкретных вскрышных пород в качестве базовых принимаются машины, наиболее часто используемые в процессах переработки вскрышных пород с аналогичными физико-механическими характеристиками.

2. **Отбор предпочтительного технического решения.** Предпочтительным считается оборудование, у которого для данных условий эксплуатации численное значение определяющего критерия удельного действия минимальное. Производится ранжирование перерабатывающих машин для конкретной схемы технологической линии в порядке уменьшения этого критерия. При определении набора перерабатывающего оборудования в схеме не всегда сочетание оптимальных конструкций машин для конкретных условий эксплуатации является оптимальным для технологической линии. Перспективными считаются две-три конструкции, у которых значение определяющего критерия удельного действия меньше, чем у остальных. Методом перебора подсчитывают различные сочетания

машин для схемы, после чего определяют оптимальный состав оборудования, для которого численное значение обобщенного критерия удельного действия минимально.

3. **Обновление оптимального технического решения.** По мере пополнения банка данных могут изменяться предпочтительные и оптимальные технические решения. Следовательно, приведенная последовательность обработки банка данных предполагает наличие постоянно действующего механизма обновления оптимальных по определяющему критерию удельного действия технических решений.

При оптимизации параметров оборудования определяются также значения этих параметров, которые минимизируют удельные действия. Такой оптимизации, как правило, подлежат те параметры исследуемой системы, которые не определены однозначно другими критериями, например, эффективностью грохочения или энергоемкостью измельчения, либо определены по конкретному критерию, но имеют широкий диапазон близких значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Методические рекомендации по применению и обогащению отсевов дробления и разнопрочных каменных материалов для дорожного строительства/ Союздорнии. - М., 1987.- 77 с.

2. Разумов К.А., Перов В.А. Проектирование обогатительных фабрик. - М.: Недра, 1982,-518 с.

СТРАТЕГИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Сайдаминов И.А.

Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»)

Аннотация. *Рассматриваются перспективы и выбор стратегия системы технического обслуживания горного оборудования, эксплуатируемых в условиях высокогорья (на примере гидравлических экскаваторов). На сегодняшний день существует необходимость пересмотра существующей жесткой системы планово-предупредительных ремонтов и перехода к более прогрессивной системе, предусматривающей обслуживание и ремонт оборудования по его фактическому состоянию, при которой необходимость проведения ремонтных работ определяется на основе предварительного осмотра и результатов диагностирования и мониторинга основных узлов экскаватора. Уделяется особое внимание выбору для каждого вида оборудования с учетом имеющихся фактических данных по эксплуатации: показатели надежности, ремонтпригодности, сроки службы узлов, законы их распределения, наличия ремонтного оборудования, принятой организации, режима работы и др. факторов непосредственно к техническому обслуживанию гидравлических экскаваторов в условиях высокогорья.*

Ключевые слова: техническое обслуживание; ремонт; эксплуатация; гидравлический экскаватор; профилактическое обслуживание; надежность; долговечность; информационно-диагностическая система; фактическое состояние; отказ; безотказности; стратегия.

STRATEGIES FOR IMPROVING THE SYSTEM OF MAINTENANCE AND REPAIR OF MINING EQUIPMENT

Saidaminov I.A.

Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, 309186 Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str., 16

Abstract. *The prospects and the choice of a strategy for the maintenance of mining equipment operated in high-altitude conditions (using the example of hydraulic excavators) are considered. To date, there is a need to revise the existing rigid system of scheduled preventive repairs and switch to a more progressive system providing for maintenance and repair of*

equipment according to its actual condition, in which the need for repair work is determined based on preliminary inspection and the results of diagnosis and monitoring of the main components of the excavator. Special attention is paid to the choice for each type of equipment, taking into account the available actual operating data: reliability indicators, maintainability, service life of components, laws of their distribution, availability of repair equipment, accepted organization, operating mode, and other factors directly related to the maintenance of hydraulic excavators in high-altitude conditions.

Keywords: maintenance; repair; operation; hydraulic excavator; preventive maintenance; reliability; durability; information and diagnostic system; actual condition; failure; reliability; strategy.

На основе анализа тенденций развития горно-строительного производства в России, СНГ была предложена стратегия, обосновывающая производство новой линейки гидравлических экскаваторов [1].

Базовая концепция построения новой стратегии, заложенная в параметрический ряд гидравлических экскаваторов и увязывающая их основные параметры с параметрами транспорта при заданных характеристиках забоя в системе разработки, для обеспечения бесперебойной и надежной погрузки транспорта за 3–5 циклов экскавации, требует пересмотра и совершенствования системы технического сервиса новых (и существующих) гидравлических экскаваторов с учетом условий эксплуатации для повышения их безотказности и долговечности. Так, из величины годового календарного фонда времени, равного 8760 ч, экскаваторы, задействованные на горно-строительные работы, производительно работают в среднем 1500–2500ч, при этом на 1ч производительной работы приходится 2,0–2,5ч простоев в ремонте, а затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт составляют 25–40% от себестоимости горно-строительной работы [2].

Опыт последних лет показывают, что техническое обслуживание, осуществляемое по регламенту ППР, при этом сокращается межремонтный период в среднем на 15–30 %. Это обусловлено тем, что в реальных условиях не существует строгой взаимосвязи между сроком эксплуатации и техническим состоянием (ТС) оборудования [3].

На сегодняшний день жесткая система ППР устарела и имеет ряд недостатков, явно выражающихся в современных условиях функционирования горного предприятия: недооценка фактических условий работы и состояния оборудования, неритмичность работы оборудования, устаревшие нормативы, значительные отклонения фактических данных работы оборудования от плановых, проведение излишних ремонтов, т.е. ремонтов исправного оборудования, и, как следствие, излишний рост эксплуатационных затрат [3, 4].

Проведение технического обслуживания основывается на применении трех базовых схем: обслуживание по факту отказа, профилактическое обслуживание и обслуживание по состоянию [5].

Известно, что эффективность работы горного оборудования связана с их техническим состоянием. Одним из главных резервов повышения эффективности производства является рациональная эксплуатация и своевременное восстановление горного оборудования (на примере гидравлических экскаваторов) при наименьших материальных и трудовых затратах.

Для поддержания заданного уровня безотказной работы при эксплуатации горного оборудования недостаточно свойств, заложенных в процессе конструирования, изготовления и монтажа. Значительное влияние на показатели их безотказной работы оказывает систем технического обслуживания и ремонта (ТОР). Мероприятия по ТОР горного оборудования могут быть разделены на две группы: техническое обслуживание связанные с предупреждением отказов, в работы по их обнаружению и устранению; ТОР в зависимости от сложности горного оборудования может проводиться при достижении определенной наработки в объемах, в установленных календарных сроках или по обоим названным показателям.

По срокам проведения ТОР разделяют на три стратегии: плановую, неплановую и смешенную.

Также различают стратегии по характеру работ, при выполнении ТОР: 1) ТОР с принудительной заменой сборочных единиц агрегатов; 2) ТОР с заменой сборочных единиц агрегатов по их техническому состоянию; 3) ТОР с заменой износившихся деталей и сборочных единиц.

Анализ сложившейся системы ТОР оборудования разных отраслей, а также нормативных документов отрасли и литературных источников по этим вопросам, позволил классифицировать систему ТОР по восьми основным показателям: цель ТОР; состав работ по ТОР; виды работ по ТОР; стратегия замены деталей; методы определения сроков проведения работ по ТОР; группы горного оборудования; время проведения работ; документация.

Из вышеназванных показателей системы ТОР ниже остановимся на значении показателя стратегии замены деталей, т.к. этот показатель является значительным в экономии материальных и трудовых затратах любой системы ТОР.

Среди множества известных стратегий выделим наиболее типовые, которые эффективно могут использоваться при ремонте горного оборудования.

Стратегия «до отказа» - S_0 . Это стратегия отражает систему ТОР с нулевым предупредительным планированием. Если обозначить возможное состояние горного

оборудования так: A_1 – работа; A_2 – неплановый ремонт, вызванный отказом; A_3 – плановое техобслуживание (ПТО), то матрица состояния горного оборудования в период эксплуатации

$$M_{пз} = \begin{matrix} A_1 & 0 & 1 \\ A_2 & 1 & 0 \end{matrix} \quad (1)$$

Состояние A_3 в такой стратегии отсутствует. Стратегия «до отказа» является единственно эффективной для деталей горного оборудования, у которых параметр потока отказов, $\omega(t) = const$, т.е. закон распределения наработки на отказ экспоненциальный, т.е. значение $P(t)$ не характеризует уровень износа и старения деталей оборудования и не может служить основой для прогнозирования его технического состояния в целях определения времени проведения плановых предупредительных работ по замене деталей. Более того, любая предварительная замена элемента или узла с $\omega(t) = const$ приведет только к снижению надежности, поскольку будет искусственно создан режим приработки, в котором всегда $\omega(t)$ выше, чем в период нормальной эксплуатации.

Стратегии «по времени» - C_b . Эта стратегия рекомендуется для горного оборудования, у которого при устранении отказа объем ремонтных работ, связанных с заменой деталей, всегда меньше, чем объем планово-предупредительных работ при замене этой детали или существенно ниже качество работ. Матрица состояния оборудования по этой стратегии запишется как:

$$M_{пз} = \begin{matrix} A_1 & 0 & 1 - F(t) & t = T_{np} \\ A_2 & 1 & 0 & 0 \\ A_3 & 1 & 0 & 0 \end{matrix} \quad (2)$$

Сущность этой стратегии состоит в том, что моменты проведения работ по ТОР с заменой деталей строго регламентируются и не зависят от числа восстановлений, т.е. от числа неплановых ремонтов в период между ТОР.

Стратегия «по наработке» - C_n . эта стратегия рекомендуется для горного оборудования, у которого при производстве неплановых ремонтных работ выполняется тот же объем работ, как и по ТОР и с тем же качеством. Матрица состояния горного оборудования по этой стратегии будет:

$$M_{пз} = \begin{matrix} A_1 & 0 & 1 - F(t) & F(t) \\ A_2 & 1 & 0 & 0 \\ A_3 & 1 & 0 & 0 \end{matrix} \quad (3)$$

Общая трудоемкость ТОР оборудования по этой стратегии существенно меньше, чем при стратегии «по времени».

Стратегии по «по числу отказов» - $C_{чo}$. Эта стратегия применима в тех случаях, где накопление определенного числа отказов приводит к существенному изменению элементов и узлов, несмотря на выполнение восстановления. В основном такая стратегия применима в

устройствах электрооборудования экскаваторов и комплексов. Сущность данной стратегии периодический проверить работоспособность устройства и вместо с n -ой проверкой проводить предупредительную замену, если до этого не был обнаружен отказ. При обнаружении отказа проводить замену отказавших элементов с переносом времени проведения очередности предупредительной замены.

Стратегия «по параметру» - $C_{п.}$ эта стратегия наиболее эффективная и перспективная для построения системы плановых предупредительных замен деталей оборудования. Основой для построения этой стратегии является методы технической диагностики. Сущность ее заключается в дискретном или непрерывном контроле за изменением параметров элементов, которые определяют его работоспособность и при достижении этих параметров критического состояния (с позиции надежности) в выдаче указания на проведение планово-предупредительной замене этих элементов. Причем контролироваться может так непосредственно параметр, определяющий работоспособность деталей, так и косвенные признаки, характеризующие состояние этих деталей.

После осмотра стратегия- $C_{по.}$ Эта стратегия широко используется при обслуживании горного оборудования. Однако, она в основном основана на интуиции персонала электромеханической службы. Она особенно эффективна при заданных контрольных нормативных признаках и наличии специальной аппаратуры диагностирования.

Таким образом, рассмотренные виды стратегии должны выбираться для каждого вида оборудования с учетом имеющихся фактических данных по эксплуатации: показатели надежности, ремонтпригодности, сроки службы узлов, законы их распределения, наличия ремонтного оборудования, принятой организации, режима работы и др. факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Ганин А. Р., Самолазов А.В., Донченко Т. В. Стратегия развития и новая линейка карьерных экскаваторов производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» // Горная промышленность. – 2012. – №4 (104). – С. 28–33.
2. Андреева Л. И. Методы формирования системы технического сервиса горнотранспортного оборудования на горнодобывающем предприятии/ НТЦ-НИИОГР. – Челябинск, 2004. – 210 с.
3. Митюшин В., Тарасов А. МИФ2: Работы по техническому обслуживанию и ремонту оборудования (ТОиР) невозможно запланировать [Электронный ресурс]. – URL: http://www.pass.ru/ analytics/toro/toro_2.html (дата обращения: 17.10.2012).
4. Дорошев Ю.С., Нестругин С.В. Повышение технологической надежности карьерных экскаваторов: монография. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009. – 194 с.

5. Развитие концепции технического обслуживания карьерных экскаваторов/ Д.А. Шибанов, С.Л. Иванов, А.С. Фокин, Е.А. Мазепа// Опыт прошлого– взгляда в будущее: материалы 2-й Междунар. науч.- практ. конф. молодых ученых и студентов/ ТулГУ. – Тула. – 2012. – С. 22–27.

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ РЕПРЕЗЕНТАТИВНОГО ОБЪЕМА МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Слободянский М.Г., Корчунов А.Г.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,

Россия, г. Магнитогорск

455000 Россия, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

E-mail: m.slobodianskii@gmail.com

***Аннотация.** В статье рассмотрены основные методы генерации элементарных репрезентативных объемов материалов используемых для проведения исследований их напряженного состояния, на основе результатов которых может быть выполнена оценка долговечности различных промышленных технических объектов, в частности деталей металлургического оборудования. Предложено использование программного продукта DREAM-3D для формирования репрезентативного объема материала при выполнении вероятностной оценки показателей долговечности деталей металлургического оборудования в рамках известного подхода, учитывающего анизотропию его реальной микроструктуры при расчете напряженного состояния.*

Ключевые слова: репрезентативный объем; напряженное состояние; долговечность; металлургическое оборудование; анизотропия свойств; микроструктура, RVE.

ON THE QUESTION OF FORMING A REPRESENTATIVE VOLUME OF MATERIAL FOR PREDICTING THE DURABILITY OF METALLURGICAL EQUIPMENT PARTS

Slobodianskii M.G., Korchunov A.G.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia, Magnitogorsk

455000, Russian Federation, Chelyabinsk Region, Magnitogorsk city, Lenin Street, 38

***Abstract.** The article discusses the main methods for generating elementary representative volumes of materials used to conduct studies of their stress state, based on the results of which an assessment of the durability of various industrial technical objects can be performed, in particular, parts of metallurgical equipment. It is proposed to use the DREAM-3D software product to generate a representative volume of material when performing a probabilistic assessment of the durability indicators of parts of metallurgical equipment within the framework of a well-known*

approach that takes into account the anisotropy of its real microstructure when calculating the stress state.

Keywords: representative volume; stress state; durability; metallurgical equipment; anisotropy of properties; microstructure, RVE.

Введение

Одним из методов повышения долговечности деталей и узлов промышленного оборудования является выбор конструкционных материалов с заданными физико-механическими характеристиками для обеспечения требуемого уровня ресурса. Поскольку в настоящее время доступен широкий спектр различных материалов, в частности сталей и чугунов, которые наиболее востребованы для изготовления комплектующих металлургического оборудования, возникает необходимость выработки подходов позволяющих исследовать возможность и оценивать целесообразность их применения.

При выборе материала деталей механического оборудования как правило руководствуются его макросвойствами, которые либо представлены в справочной литературе для широко известных марок, либо определяются при помощи стандартного комплекса испытаний. Эти же макросвойства используются как исходные данные для оценки напряженного состояния материала при расчете работоспособности исследуемого объекта по критерию прочности.

Для оценки работоспособности деталей и узлов по критерию прочности наибольшее распространение получил метод конечных элементов (МКЭ), реализованный в соответствующих программных комплексах таких как SIMULIA Abaqus, ANSYS, Nastran, Inventor Nastran и др. В этом случае материал рассматривается как сплошной континуум с заданными физическими и механическими характеристиками постоянными по величине в рамках всего объема исследуемого технического объекта. Однако, используя современный инструментарий материаловедения и МКЭ возможно представление и исследование материала как анизотропной среды с учетом различия свойств его структурных составляющих. В этом случае для проведения подобных исследований принято использовать элементарные репрезентативные объемы материала, которые отражают реальную картину его строения.

Под репрезентативным объемом материала (RVE) следует понимать, согласно [1], минимальный его объем (на микроуровне или ниже) с использованием которого возможно проведение исследований с интерпретацией результатов для изучаемого объекта в целом (т.е. на макроуровне). Это значит, что о поведении материала макрообъекта можно судить по результатам исследований RVE.

В данной статье рассматриваются известные методы формирования RVE для проведения исследований поведения материала с использованием МКЭ, а также предлагаются практические рекомендации их реализации при оценке долговечности деталей металлургического оборудования по критерию прочности.

Методы формирования RVE

Анализ известных литературных источников позволяет выделить три группы методов используемых при формировании репрезентативных объемов анизотропных поликристаллических микроструктур:

1. Генерация RVE с использованием экспериментальных методов исследования микроструктуры материалов [2 - 4].
2. Формирование RVE на основе моделирования физических процессов, которые определяют образование реальной микроструктуры материала [5 - 8].
3. Создание RVE геометрически подобной реальной микроструктуре без учета физических процессов её формирования [9 - 11].

В рамках первой группы методов наибольшее распространение получили два направления исследований по формированию RVE:

1. Исследование микроструктуры материалов с использованием метода серийного секционирования, который подразумевает комплекс мероприятий, выполняемый в автоматическом режиме и включающий в себя: механическую обработку, травление образца и последующее получение фотографии структуры.

2. Изучение микроструктуры на основе визуализации с использованием пропускающего излучения с применением просвечивающей электронной микроскопии [12].

Принцип генерации RVE с использованием экспериментальных методов исследования микроструктуры материала представлен на рисунке 1.

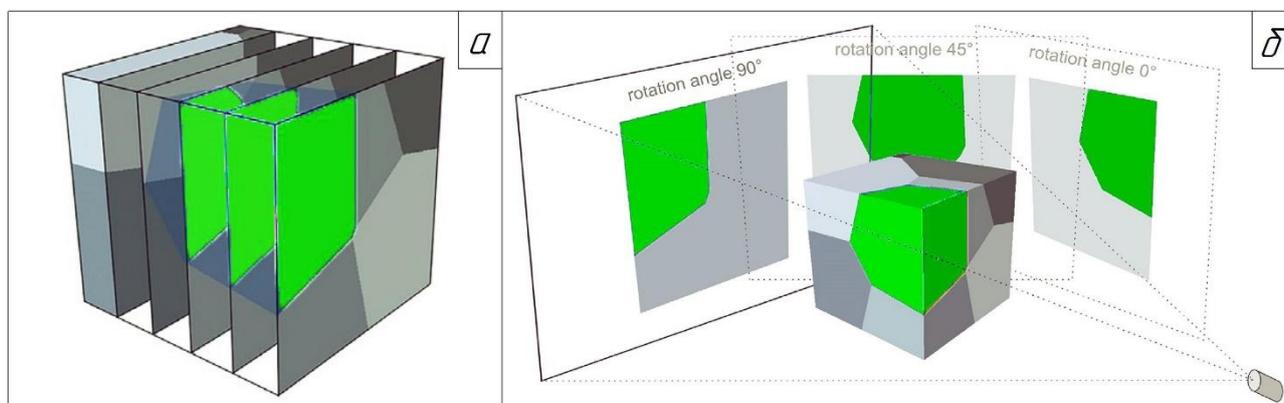


Рис. 1 – Экспериментальные методы генерации RVE [13]

а – метод серийного секционирования; б – метод проекционной визуализации

К недостаткам данной группы методов можно отнести необходимость применения дорогостоящего оборудования и высокие требования к квалификации исследователей, а также затруднения в идентификации особенностей микроструктуры в виду высокой детализации её представления.

Вторая и третья группа методов генерации репрезентативных объемов поликристаллических структур наиболее полно рассмотрены в работе [13].

Отдельно следует отметить программные комплексы, которые в настоящее время получили широкое применение при формировании RVE, такие как OOF, Dream3D, Neper, Digimat и другие.

Для исследования композиционных материалов на основе построения конечно-элементной модели, в рамках микроструктурного уровня представления, Национальным институтом стандартов и технологий США (United States National Institute of Standards and Technology) разработан специализированный программный комплекс Object Oriented Finite Element (OOF) [14]. OOF позволяет исследовать микроструктуру как в двухмерной постановке задачи (OOF2D) [15], так и для случая генерации трехмерного репрезентативного объема (OOF3D). Формирование RVE в OOF3D осуществляется на основе комплекта фотоснимков микроструктуры, полученных секционным сканированием образца, с использованием метода аддитивного построения сетки, который позволяет наиболее точно повторить геометрию зерен различных структурных фаз. К сожалению, возможности использования данного программного продукта ограничены, что достаточно подробно изложено в работе [16].

Одним из наиболее простых и доступных программных комплексов для построения RVE композиционных материалов является Digimat [17 - 19], в основе которого лежит метод гомогенизации. Это модульный программный продукт и наибольший интерес в рамках данной работы представляют отдельные модули Digimat-MF и Digimat-FE. В качестве исходных данных при формировании RVE принимаются: объемное содержание каждой отдельной фазы, а также физические и механические свойства структурных компонентов. Анализ напряженного состояния RVE может быть выполнен как в Digimat так и в сторонних специализированных программных комплексах SIMULIA ABAQUS, ANSYS, NASTRAN и других. Преимуществом OOF в сравнении с Digimat является возможность генерации RVE на основе фотоснимков реальной микроструктуры.

Широкое применение получил программный продукт DREAM-3D [20], который позволяет генерировать RVE как на основе результатов EBSD анализа, так и синтезировать произвольный микрообъем исходя из таких характеристик как размер зерен и

статистических параметров их распределения. Это программа с открытым кодом, используемая для формирования RVE различных композитов как волокнистого типа, так и с металлической матрицей. На рисунке 2 представлен пример синтезированного RVE для стали 40X размером 200x200x200 мкм. RVE с выделенными отдельными зернами структурных составляющих отображен на рисунке 2.а, а сочетание фаз на рисунке 2.б.

DREAM-3D позволяет формировать RVE и экспортировать его в различные форматы для проведения исследований в специализированных программных продуктах, таких как ABAQUS, ANSYS и др. При генерации синтетического RVE используется логарифмически-нормальное распределение для формирования зерен и фаз исходя из среднего размера зерна и типа его формы.

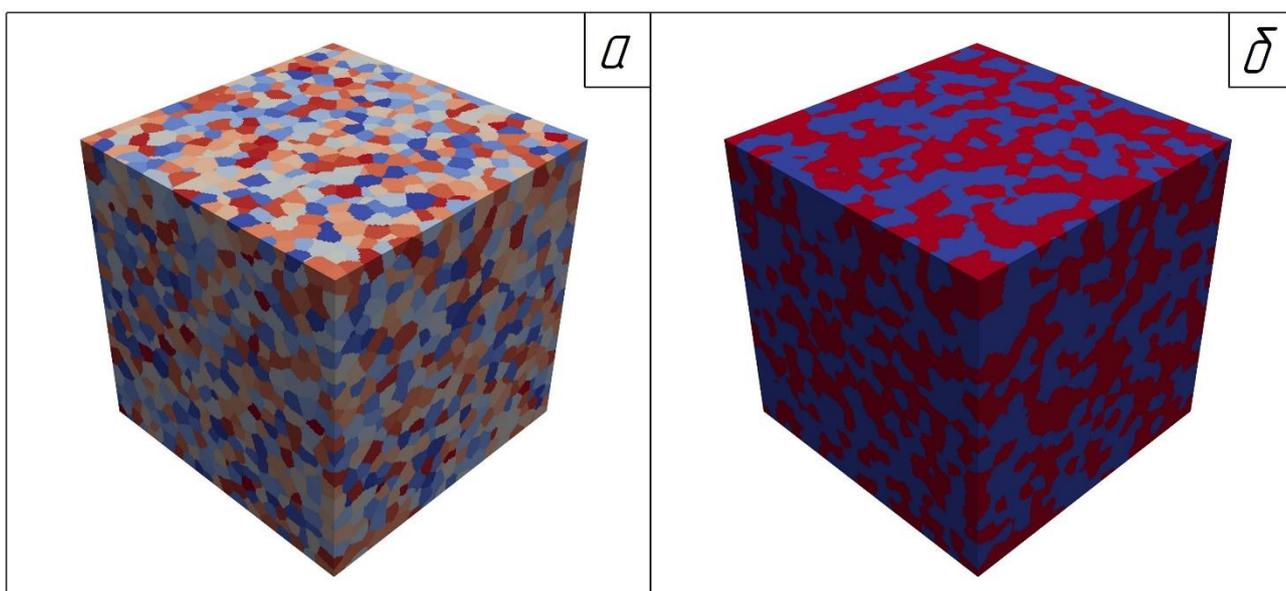


Рис. 2 – RVE 200x200x200 стали 40X сформированный с использованием DREAM-3D

а – микроструктура с выделенными отдельными зернами;

б – микрообъем, состоящий из двух фаз
(синий цветом обозначен перлит, красным цветом - феррит)

На наш взгляд DREAM-3D является одним из наиболее перспективных программных продуктов, который возможно использовать для проведения исследований напряженного состояния микроструктуры материала и дальнейшей оценки его долговечности.

Прогнозирование долговечности деталей металлургического оборудования на основе моделирования напряженного состояния репрезентативного объема материала

В настоящее время активно развивается подход к оценке долговечности деталей металлургического оборудования на основе моделирования напряженного состояния материала, который рассматривается как анизотропная поликристаллическая структура [21-

23]. В его основе используются базовые положения теории параметрической надежности деталей машин [24], кинетической теории повреждаемости материалов [25-28] и основные принципы постановки задачи формирования RVE и моделирования его напряженного состояния.

Указанный подход предполагает расчет напряженного состояния RVE материала исследуемого технического объекта с последующей оценкой его гамма-процентного ресурса в соответствии с основными положениями методики работы [23]. Формирование RVE осуществляется с использованием результатов микроструктурного анализа образцов исследуемого материала, с учетом абсолютного соблюдения масштабного фактора размеров зерен структурных составляющих. Одним из основных допущений при генерации RVE является предположение о том, что в любом его сечении сохраняется процентное соотношение фаз.

Данный подход хорошо себя зарекомендовал и был успешно апробирован при исследовании долговечности холостых катков барабанного окомкователя [22]. Однако, его недостатком можно считать высокую трудоемкость подготовки RVE, что существенно ограничивает возможности применения указанного подхода в условиях проектно-конструкторских организаций и промышленных предприятий. Поэтому опираясь на результаты анализа известных методов формирования RVE и современных достижениях в области прогнозирования показателей долговечности деталей металлургического оборудования, можно заключить, что наиболее перспективным с позиции сокращения временных затрат на генерацию репрезентативного объема и моделирование его напряженного состояния является применение специализированных программных продуктов, таких как например DREAM-3D. Его применение позволит ускорить процесс формирования RVE и представит возможность для проведения исследований в условиях промышленных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Hill R. Elastic properties of reinforced solids: some theoretical principles // Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1963, Vol. 11. №5. Pp. 357–372, DOI:10.1016/0022-5096(63)90036-x
2. Serial sectioning techniques - A versatile method for three-dimensional microstructural imaging / F. Mücklich, M. Engstler, D. Britz, J. Gola // Praktische Metallographie. – 2018. – Vol. 55, No. 8. – P. 569-578. – DOI 10.3139/147.110535

3. Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review / Azad Mohammed, Avin Abdullah // Proceedings of 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics – HERVEX. – 2018. P. 77-85
4. Liu G, Yu H. On the sampling of serial sectioning technique for three-dimensional space-filling grain structures. Image Anal Stereol. – 2000. Vol. 19. №2. – P.81-84
5. Kawasaki K. Vertex models for two-dimensional grain growth / K. Kawasak, T. Nagai, K. Nakashima // Philos Magaz. – 1989. – Vol.60, №3. – P. 399-421
6. Syha, M. A generalized vertex dynamics model for grain growth in three dimensions / M. Syha, D. Weygand // Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering. – 2010. – Vol. 18, No. 1. – P. 015010. – DOI 10.1088/0965-0393/18/1/015010
7. Janssens, K. G. F. Random grid, three-dimensional, space-time coupled cellular automata for the simulation of recrystallization and grain growth / K. G. F. Janssens // Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering. – 2003. – Vol. 11, No. 2. – P. 157-171
8. Anderson M.P. Computer simulation of normal grain growth in three dimensions / M. P. Anderson, G. S. Grest, D. J. Srolovitz // Philosophical Magazine B: Physics of Condensed Matter; Statistical Mechanics, Electronic, Optical and Magnetic Properties. – 1989. – Vol. 59, No. 3. – P. 293-329. – DOI 10.1080/13642818908220181
9. Fritzen, F. Periodic three-dimensional mesh generation for crystalline aggregates based on Voronoi tessellations / F. Fritzen, T. Böhlke, E. Schnack // Computational Mechanics. – 2009. – Vol. 43, No. 5. – P. 701-713. – DOI 10.1007/s00466-008-0339-2
10. Luther, T. Polycrystal models for the analysis of intergranular crack growth in metallic materials / T. Luther, C. Könke // Engineering Fracture Mechanics. – 2009. – Vol. 76, No. 15. – P. 2332-2343. – DOI 10.1016/j.engfracmech.2009.07.006
11. Ritz H, Dawson P. Sensitivity to grain discretization of the simulated crystal stress distributions in fcc polycrystals. Model Simul Mater Sci Eng. – 2009. Vol. 17. 1 – №1
12. Fredrich JT. 3D imaging of porous media using laser scanning confocal microscopy with application to microscale transport processes. Phys Chem Earth, Part A: Solid Earth Geodesy. – 1999. Vol. 24, №7. – P. 551–61
13. Generation of 3D representative volume elements for heterogeneous materials: A review / S. Bargmann, C. Soyarslan, J. Wilmers [et al.] // Progress in Materials Science. – 2018. – Vol. 96. – P. 322-384. – DOI 10.1016/j.pmatsci.2018.02.003
14. Image-based finite element mesh construction for material microstructures / A. C. E. Reid, S. A. Langer, R. C. Lua [et al.] // Computational Materials Science. – 2008. – Vol. 43, No. 4. – P. 989-999. – DOI 10.1016/j.commatsci.2008.02.016.

15. Reid A. Modeling microstructures with OOF2 / Andrew C.E. Reid, Rhonald C. Lua // *International Journal of Materials and Product Technology*. - 2009. - Vol. 35, № 3/4. - Pp. 361 - 373.
16. Применение метода конечных элементов при исследовании композиционных материалов. Подходы, методики, программные средства / Е.Н. Князева, В.А. Кукареко, В.Ю. Александров, Н.П. Тимошенко // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2013. – № 3(24). – С. 69-76
17. Гонтюк А.П. Программный комплекс Digimat от разработки композиционных материалов и виртуальных испытаний образцов до моделирования изготовления и расчета композитных деталей / А.П. Гонтюк // *Композитный мир*. – 2019. – № 4(85). – С. 42-51
18. Компьютерное моделирование композиционных материалов в среде DIGIMAT / М.Е. Исаметова, А.М. Дуйсенгали, Г.С. Абилезова, О.А. Джасинбеков // *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*. – 2021. – № 4/1. – С. 14-26. – DOI 10.18137/RNU.V9187.21.04/1.P.014.
19. 3D microstructure-based modelling of the deformation behaviour of ceramic matrix composites / T. Trzepieciński, G. Rzyńska, M. Biglar, M. Gromada // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2018. – Vol. 38, No. 8. – P. 2911-2919. – DOI 10.1016/j.jeurceramsoc.2017.11.038
20. Identifying Structure–Property Relationships Through DREAM.3D Representative Volume Elements and DAMASK Crystal Plasticity Simulations: An Integrated Computational Materials Engineering Approach / M. Diehl, F. Roters, D. Raabe [et al.] // *Journal of the Minerals Metals & Materials Society*. – 2017. – Vol. 69, No. 5. – P. 848-855. – DOI 10.1007/s11837-017-2303-0
21. Слободянский М.Г. Прогнозирование отказов деталей металлургического оборудования по критериям прочности, изготовленных из серого чугуна, на основе микроструктурного моделирования напряженного состояния / М.Г. Слободянский // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. – 2024. – № 3. – С. 90-106. – DOI 10.34031/2071-7318-2024-9-3-90-106
22. Слободянский М.Г. Предиктивная оценка показателей долговечности барабанного окомкователя по критерию прочности неприводных опорных катков на основе микромасштабного моделирования напряженного состояния материала / М.Г. Слободянский, А.Г. Корчунов // *Сборка в машиностроении, приборостроении*. – 2024. – № 4. – С. 179-187. – DOI 10.36652/0202-3350-2024-25-4-179-187
23. Слободянский М.Г. Вероятностная оценка долговечности металлургического оборудования на основе микроструктурного моделирования напряженного состояния

материала / М.Г. Слободянский, А.Г. Корчунов // Вестник машиностроения. – 2024. – Т. 103, № 6. – С. 443-451. – DOI 10.36652/0042-4633-2024-103-6-443-451

24. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. М.: Изд-во МГТУ имени Баумана, 2003. 536 с.

25. Анцупов А.В. (мл.), Анцупов А.В., Анцупов В.П. Аналитический метод проектной оценки ресурса элементов металлургических машин // Известия вузов. Черная металлургия. 2017. Том 60. №1. С. 30-35

26. Экспериментальная оценка долговечности образцов при стандартных испытаниях на растяжение / А.В. Анцупов, М.Г. Слободянский, А.В. Анцупов [и др.] // Механическое оборудование металлургических заводов. – 2013. – № 2(2). – С. 27-35

27. Проектная оценка повреждаемости материалов и долговечности образцов при испытании их на разрывной машине / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов Мл, М.Г. Слободянский [и др.] // Механическое оборудование металлургических заводов. – 2013. – № 2(2). – С. 70-75

28. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020618192 Российская Федерация. Долговечность деталей машин: № 2020617272: заявл. 16.07.2020: опубл. 22.07.2020 / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов, В.П. Анцупов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – EDN EWJUOB.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСПАНДИРОВАНИЯ СВАРНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Таупек И.М.¹, Положенцев К.А.²

¹ *Электростальский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»,
Россия, г. Электросталь*

² *ООО «Неофлекс», Россия*

***Аннотация.** Приведены результаты конечно-элементного моделирования процесса экспандирования трубы большого диаметра.*

Ключевые слова: экспандирование; САПР; моделирование; метод конечных элементов; МКЭ.

SIMULATION OF THE EXPANDING PROCESS OF LARGE DIAMETER WELDED PIPES

Taupek I.M.¹, Polozhentsev K.A.²

¹ *Elektrostal Institute, Russia, Elektrostal*

² *Moskabel - TekhnoCentr, Moscow*

***Abstract.** The results of finite element modeling of the expanding process of large diameter welded pipe.*

Keywords: expanding; CAD; CAM; simulation; finite element method; FEM.

Экспандирование является одной из операций производства труб большого диаметра. Она является финальной стадией формоизменения трубной заготовки и следует за операцией сварки кромок. Позволяет производить операции правки и калибровки, исправления формы поперечного сечения и упрочнения за счёт раздачи трубы внутренним давлением. Давление может достигаться как при помощи подачи воды, так и при использовании специального механического экспандера. В данной работе смоделирован экспандер конструкции фирмы SMS Meer, установленный в трубоэлектросварочном цехе «Высота 239» Челябинского трубопрокатного завода. Фото рабочей головки экспандера показано на рисунке 1.

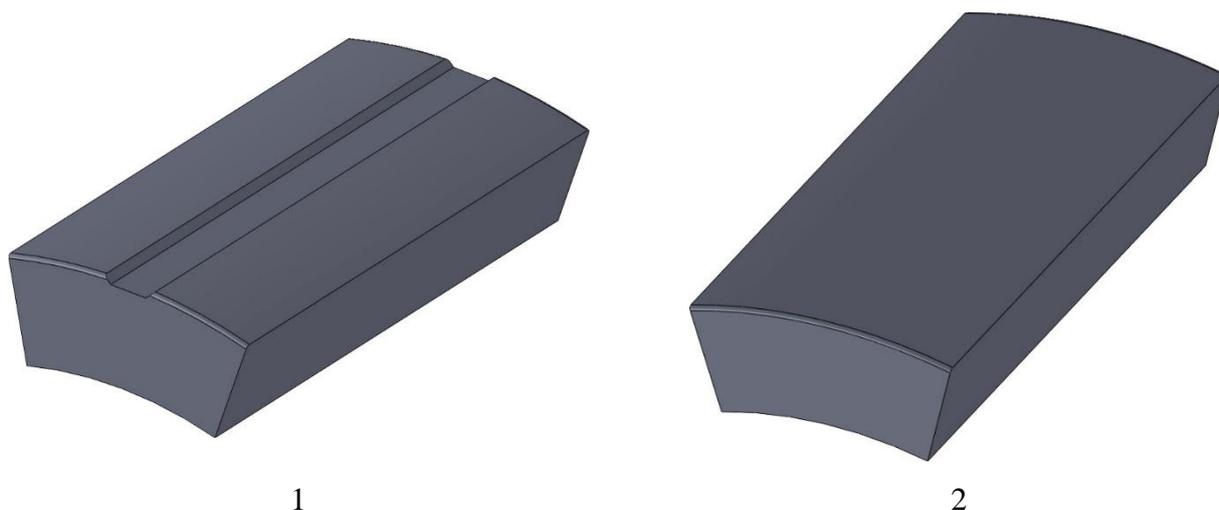
Механизм работы экспандера основан на перемещении подвижной внутренней тяги, которая посредством цангового механизма позволяет перемещать в радиальном направлении подвижные наборные вставки, которые оказывают давление на внутреннюю поверхность

трубы и производят процесс экспандирования. После расширения на нужный диаметр вставки приводятся в исходное положение, а сама головка продвигается вперёд на заданную длину и процесс повторяется [1, 2].



Рис. 1 – Головка экспандера

Вставки головки экспандера используются двух видов: с продольной выемкой, которая располагается под зоной сварного шва таким образом, чтобы сам шов не подвергался прямому давлению и гладкие – для всей остальной части трубы. Всего применяется 12 вставок: 1 для шва и 11 гладких. Модели вставок показаны на рисунке 2.



1

2

Рис. 2 – Виды вставок экспандера

1 – для области сварного шва; 2 – Для остальной трубы

Внешний вид сборки моделей вставок показан на рисунке 3.

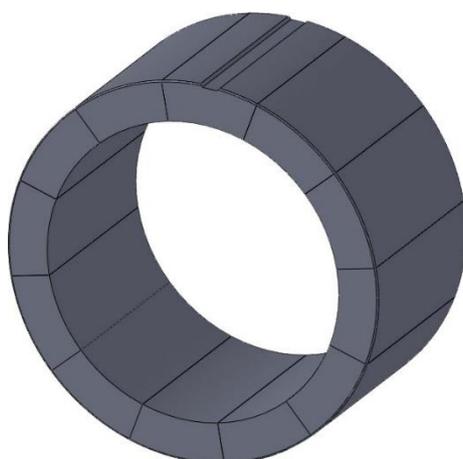


Рис. 3 – Сборка моделей вставок

Модель трубы создавалась в модуле DEFORM RingRolling, который позволил создать конечно-элементную сетку, состоящую из гексаэдров одинакового размера для полной трубы. Итоговая сетка состояла из 36000 элементов, при этом удалось расположить четыре элемента по толщине стенки [3]. В дальнейшем модель заготовки с КЭ-сетки была импортирована в стандартный Препроцессор, как показано на рисунке 4.

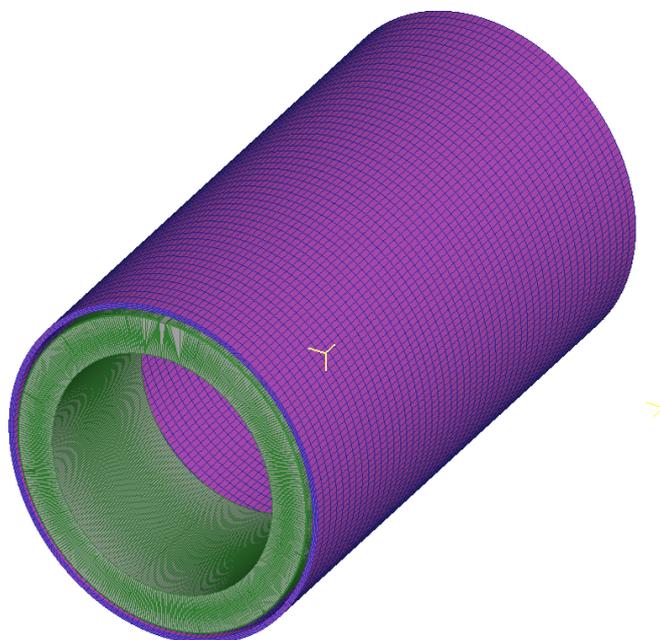


Рис. 4 – Модель заготовки и вставок после импортирования в DEFORM

На данном этапе моделирования труба выполнялась в виде целькового тела, уменьшенной длины, без имитации сварного шва и без наследования пластической деформации от операций формовки и сварки. В дальнейшем планируется произвести

сквозное моделирование, включающее в себя эти процессы. Внешний диаметр составлял 1403 мм, что соответствовало заготовке для трубы 1420 мм до экспандирования, толщина стенки составляла 21,7 мм.

Особенностью процесса моделирования операций экспонирования и формовки является необходимость задействовать упруго-пластическую модель материала, с реологическими характеристиками стали AISI-1070 (аналог стали 17Г1С), взамен пластической, применяемой при КЭ моделировании большинства процессов ОМД. Данная модель позволяет получить данные об остаточных напряжениях и распружинивании заготовки после снятия нагрузки. Так же использование упруго-пластичной модели увеличивает время расчёта задачи.

Распределение накопленных деформаций показано на рисунке 5. Заметны области с максимальными значениями, соответствующие местам соприкосновения с краями вставок – именно в этих областях происходит наибольшая радиальная деформация.

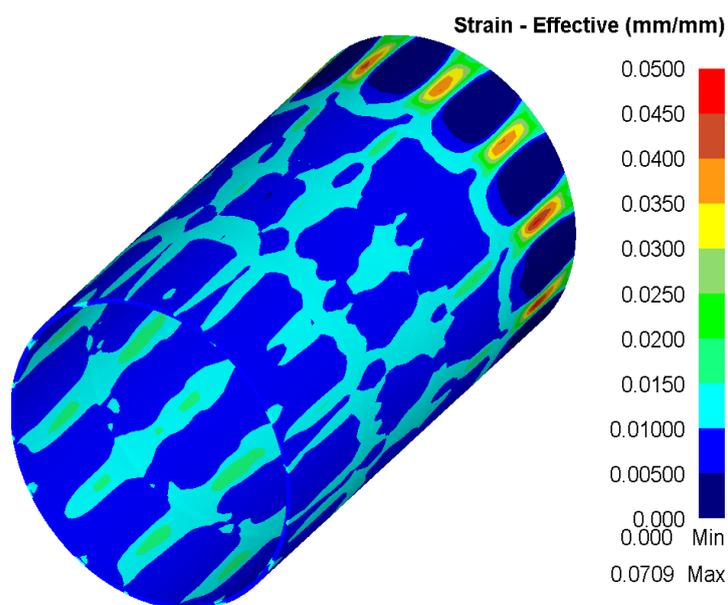


Рис. 5 – Распределение накопленных деформаций

Распределение интенсивности напряжений показано на рисунке 6. Упруго-пластическая модель позволила оценить остаточное напряжённое состояние трубной заготовки после снятия нагрузки экспандера. Максимальные значения располагаются в кольцевых областях, имеющих шаг, равный продольному перемещению головки экспандера. Повышенные значения наблюдаются и между кольцевыми зонами и так же соответствуют местам взаимодействия кромок вставок с заготовкой.

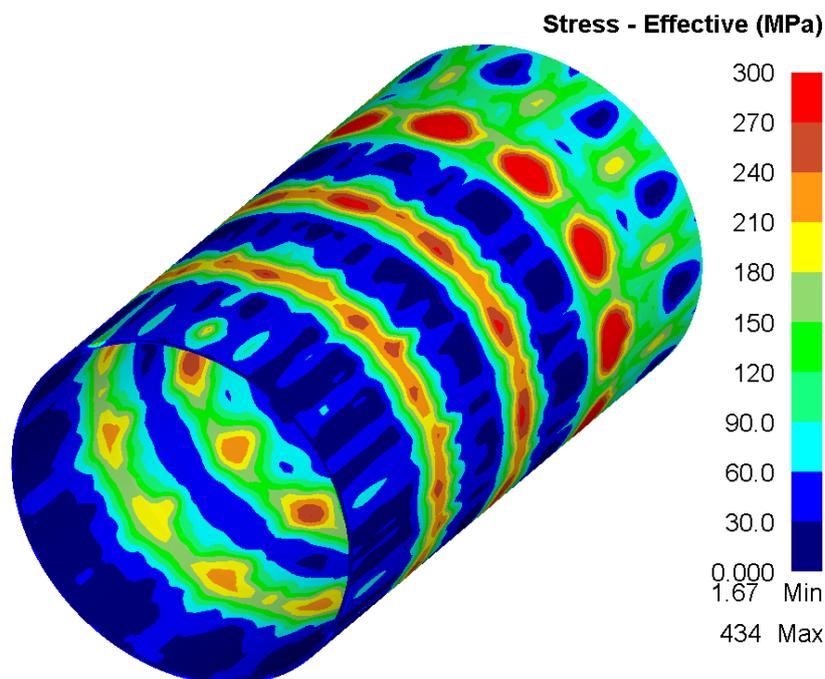


Рис. 6 – Распределение интенсивности напряжений

Произведённое моделирование позволило оценить остаточное напряжённо-деформированное состояние трубной заготовки после экспандирования. Что позволяет оценить напряжения как в зоне сварного шва, так и по всему объёму заготовки.

Дальнейшими этапами моделирования планируется выполнить моделирование операций формовки с последующей сваркой и экспандированием с использованием одной заготовки для всех процессов, что позволит более подробно оценить напряжённо-деформированное состояние всего процесса производства труб большого диаметра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Самусев С.В. Теория, технология и оборудование для производства прямошовных сварных труб большого диаметра в линии ТЭСА-1420. Часть 1. / С.В. Самусев, А.Н. Фортунатов, Н.В. Овчарова. Выксунский Филиал НИТУ «МИСиС». 2013. 140 с.
2. Коликов А.П. Машины и агрегаты трубного производства: Учебное пособие для вузов / А.П. Коликов, В.П. Романенко, СВ. Самусев и др. - М.: МИСиС. 1998. 536 с.
3. Общее руководство по работе с программным комплексом DEFORM / Таупек И.М., Кабулова Е.Г., Положенцев К.А., Лисовский А.В., Макаров А.В. // – Старый Оскол: ООО ИПК «Кириллица», 2015. – 217 с.

ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Часовских А.С., Владимиров А.А., Бородина М.Б.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» Россия, г. Старый Оскол
tomm_sti_misis@mail.ru*

***Аннотация.** В статье представлены исследования новых наплавочных материалов для восстановления роликов прокатных станов на термостойкость при циклическом изменении температур. Проведенные в лаборатории СТИ НИТУ «МИСИС» исследования показали удовлетворительный результат разработанных наплавочных материалов.*

Ключевые слова: наплавка; восстановление деталей; термоциклические испытания; работоспособность; износостойкость; термостойкость.

THERMOCYCLIC TESTS OF WELDING MATERIALS

Chasovskikh A.S., Vladimirov A.A., Borodina M.B.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

***Abstract.** The article presents studies of new surfacing materials for restoration of rolling mill rollers for thermal stability under cyclic temperature changes. The studies conducted in the laboratory of STI NUST "MISIS" showed a satisfactory result of the developed surfacing materials.*

Keywords: surfacing; restoration of parts; thermal cycling tests; performance; wear resistance; heat resistance.

В настоящее время широко распространена тенденция использования восстановительных и упрочняющих технологий для снижения производственных затрат и поддержания непрерывного производства на предприятиях горной и металлургической промышленности [1].

Частые и внеплановые остановки производства на ремонт и замену деталей, высокие затраты на закупку новых деталей, использование импортных механизмов и машин, требующих соответствующих, и в настоящее время часто недоступных, материалов для ремонта и должной эксплуатации данного оборудования – это лишь часть проблем, решение которых поспособствует росту производительности, улучшению качества и снижению себестоимости выпускаемой продукции, вследствие чего возможен рост конкурентоспособности предприятия на внутреннем и международном рынках.

В процессе эксплуатации ролики транспортного рольганга зоны вторичного охлаждения МНЛЗ постепенно уменьшаются в диаметре по причине окисления и механического изнашивания. Поверхность роликов покрывается трещинами, образованными из-за постоянного циклического нагрева (сетка разгара). Покупка новых роликов приводит к большим производственным затратам и, как следствие, к повышению стоимости проката и снижению конкурентоспособности продукции комбината. Решение этой актуальной проблемы мы видим в восстановлении изношенных роликов электродуговой наплавкой [1-4].

При выборе наплавочного материала следует учесть все виды разрушения роликов и их причины. Поэтому материал для восстановления роликов необходимо выбирать, проведя предварительные опытные испытания на износостойкость [3] и термостойкость материала.

Для проведения испытаний материалов на термостойкость, в лаборатории СТИ НИТУ «МИСИС» были подготовлены опытные образцы с наплавленными электродуговой наплавкой материалами, состав которых представлен в таблице 1. Нанесение слоя проведено на цилиндрических образцах из стали 20Х13. Это жаропрочная хромистая сталь мартенситного класса, из которой выполнены ролики. Наплавка производилась на установке УСН 60-550/1400 SAW (ООО «ПРОМОС», Россия) (рисунок 4) со следующим рабочим режимом: сила тока $I = 300-350$ А, напряжение $U = 26-28$ В, скорость подачи проволоки $v = 2,8-3,2$ м/мин.

Таблица 1 – Составы наплавочного материала шихты порошковой проволоки

Номер материала	Химический состав наплавляемого металла, %										
	Fe	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	W	WC	BN г
№1	Осн.	0,3	1,3	0,6	14,0	0,4	1,2	0,2	-	6,0	0,3
№2	Осн.	0,3	1,3	0,6	14,0	0,4	1,2	0,2	-	10,0	0,4
№3	Осн.	0,3	1,3	0,6	14,0	0,4	1,2	0,2	4,5	-	0,5
№4	Осн.	0,3	1,3	0,6	14,0	0,4	1,2	0,2	7,0	-	1,0
№5	Осн.	0,3	1,3	0,6	14,0	0,4	1,2	0,2	5,0	4,3	0,3

После наплавки образцы были подвергнуты термической обработке в виде отпуска при температуре 450 °С в течение 3 часов, остывание происходило вместе с печью. Для термической обработки образцов использовалась муфельная печь ЭКПС-10 (Смоленское СКТБ СПУ, Россия).

Для термоциклических испытаний образцов использовалось оборудование: печь муфельная, емкость с охлаждающей жидкостью (вода), изготовленные с использованием разработанного материала образцы 20x20 мм.

Последовательность выполнения термоциклических испытаний:

- 1) предварительно прогревается печь температурой 1000, 900 и 800°C в течение 3 часов;
- 2) образцы закладываются в прогретую печь, в журнале зафиксировано время закладки;
- 3) после выхода температуры на 1000°C фиксируется в журнал время;
- 4) через 30 минут образцы извлекаются из печи и немедленно опускаются в охлаждающую жидкость (вода). Температура охлаждающей жидкости - от 20 до 40°C, а скорость охлаждения до температуры охлаждающей среды - 20...25 с.;
- 5) проводится осмотр поверхности образцов на наличие трещин и иных повреждений поверхности, наличие трещин отмечается в журнале;
- 6) цикл повторяется, начиная с пункта 2 четыре раза.

Условия проведения испытаний, в частности температура 1000 °С, были выбраны как максимально критические условия, которые могут возникнуть на предприятиях металлургической и тяжёлой промышленности при аварийных ситуациях.



Образец после
первого цикла

Образец после
второго цикла

Образец после
третьего цикла

Образец после
четвёртого цикла

Рис. 1 – Изображения образца №1 после циклов термоциклического испытания

Образование трещин в образце №1, наблюдалось после первого цикла, также часть образца откололась в процессе охлаждения. При последующих циклах новых трещин обнаружено не было, однако видно развитие уже образованных, что может привести образец к полному разрушению при более интенсивных термодинамических испытаниях.



Образец после первого цикла Образец после второго цикла Образец после третьего цикла Образец после четвёртого цикла

Рис. 2 – Изображения образца №2 после циклов термоциклического испытания

На образце №2 была образованна одна трещина в процессе первого цикла. При дальнейших циклах данная трещина развивалась, достигнув параллельных границ покрытия и углубляясь в материал покрытия.



Образец после первого цикла Образец после второго цикла Образец после третьего цикла Образец после четвёртого цикла

Рис. 3 – Изображения образца №3 после циклов термоциклического испытания

Образец №3 уже имел дефект в виде скола, однако в процессе испытаний, на протяжении всех циклов, образец не подвергся образованию трещин или развитию дефекта.



Образец после первого цикла Образец после второго цикла Образец после третьего цикла Образец после четвёртого цикла

Рис. 4 – Изображения образца №4 после циклов термоциклического испытания

Образец №4 на протяжении всех циклов не был подвержен процессу трещинообразования.



Образец после первого цикла	Образец после второго цикла	Образец после третьего цикла	Образец после четвёртого цикла
--------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------

Рис. 5 – Изображения образца №5 после циклов термоциклического испытания

Образец №5 на протяжении всех циклов не был подвержен процессу трещинообразования.

Исходя из результатов испытаний был сделан вывод, что лучшей трещиностойкостью обладают материалы под номера 3, 4 и 5. Но учитывая предельную критичность проводимых испытаний все образцы показали удовлетворительный результат, так как полного разрушения образцов достигнуто не было. Проведенные исследования выявили наиболее перспективные составы наплавочных материалов для дальнейших практических испытаний роликов в условиях производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Макаров, А. В., Владимиров А.А. Об опыте применения экспериментальной наплавочной проволоки ASM 4430-SA, модифицированной тугоплавкими компонентами для восстановления роликов рольганга прокатного стана // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: Материалы XX всероссийской научно-практической конференции, Старый Оскол, 21 декабря 2023 года. – Старый Оскол: Национальный исследовательский технологический университет "МИСИС", 2024. – С. 300-305.
2. Повышение стойкости роликов рольганга методом электродуговой наплавки с применением перспективных наплавочных материалов, модифицированных тугоплавкими компонентами / А. Е. Кудряшов, А. В. Макаров, А. А. Владимиров [и др.] // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка: Сборник докладов 12-го Международного симпозиума. В 2-х частях, Минск, 07–09 апреля 2021 года / Редколлегия: А.Ф. Ильющенко (гл. ред.) [и др.]. Том Часть 2. – Минск: Республиканское унитарное предприятие "Издательский дом "Белорусская наука", 2021. – С. 123-127.
3. Часовских А. С. Исследование влияния модифицирующих тугоплавких компонентов на эксплуатационные и технологические свойства наплавленных слоев проволоки ASM 4430 / А. С. Часовских, А. В. Макаров, А. Е. Кудряшов // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: Материалы девятнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным

участием, Старый Оскол, 07 декабря 2022 года. – Старый Оскол: Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", 2023. – С. 319-330.

4. Петров П. А. Методы повышения стойкости роликов МНЛЗ / П. А. Петров, В. Ю. Подгорный // Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства: Сборник материалов V международной научно-технической конференции, Алчевск, 15 октября 2020 года. – Алчевск: Донбасский государственный технический институт, 2020. – С. 33-34.

ПРИМЕНЕНИЕ КАРБОВИБРОДУГОВОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ГОРНО-ДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ

Шаповалов А.И., Леонов С.Д., Скрипцов Д.Р.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42,
tomm_sti_misis@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 доб. 240*

***Аннотация.** В статье рассмотрена возможность и целесообразность применения карбовибродугового упрочнения деталей горно-дорожных машин с целью увеличения их ресурса. Анализ источников указывает, что ресурс деталей с применением твердосплавной составляющей металлокерамических паст может увеличиться более чем в 2 раза.*

Ключевые слова: износ; карбовибродуговое упрочнение; металлокерамическая паста; электрическая дуга; твердый сплав.

THE USE OF CARBON FIBER-ARC HARDENING TO INCREASE THE SERVICE LIFE OF MINING AND ROAD MACHINERY PARTS

Shapovalov A.I., Leonov S.D., Skriptsov D.R.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

***Abstract.** The article considers the possibility and expediency of using carbon fiber-arc hardening of mining and road machinery parts in order to increase their service life. The analysis of sources indicates that the resource of parts using the carbide component of ceramic-metal pastes may increase by more than 2 times.*

Keywords: wear; carbon fiber arc hardening; ceramic metal paste; electric arc; hard alloy.

В процессе эксплуатации детали горно-дорожных машин, таких как трактора, погрузчики, экскаваторы, испытывают значительные нагрузки, связанные с воздействием ударных нагрузок и абразива горной породы. Наиболее интенсивно таким нагрузкам подвержены детали ходовой части и рабочие органы машин. На их восстановление и замену изношенных деталей расходуется большое количество людских, финансовых и материальных ресурсов. Создание универсальной технологии, позволяющей локально упрочнять, как новые детали, так и восстанавливать или упрочнять после восстановления

изношенные детали, а также при этом позволяющая варьировать свойства получаемого поверхностного слоя в зависимости конкретных условий эксплуатации и нагрузок на деталь, является актуальной задачей. Это также обусловлено введенными санкциями и снижением покупательной способности из-за роста курса валют, а также в связи с курсом России на импортозамещение запасных частей.

Основное направление повышения ресурса рабочих поверхностей деталей горно-дорожных машин - применение методов их поверхностного упрочнения. Перспективными для упрочнения являются композитные материалы, которые чаще всего наносятся на упрочняемые поверхности в виде покрытий [1, 2]. Одним из современных способов упрочнения деталей машин, является карбовибродуговое упрочнение [3], далее КВДУ. Для его реализации необходимо наносить на поверхность детали металлокерамическую пасту, в основе которой металлическая матрица, керамические компоненты и криолит, способствующий активизации процесса горения дуги. Связующим веществом является 50%-й водный раствор клея. Пасту готовят механическим смешением входящих в её состав компонентов. Затем наносят шпателем на поверхность детали и высушивают при температуре 90–95°C до затвердевания.

КВДУ может осуществляться при помощи установки ВДГУ-2, которая включает в себя пульт управления и выбора режимов, вибратор для установки и закрепления угольного электрода и сварочный инвертор (источника тока) на 200 - 250А (рис. 1). В вибратор устанавливают и закрепляют угольные электроды (рис. 2). При КВДУ используют электроды диаметром 6 - 10 мм. Упрочнение ведут при горении прямой дуги при использовании следующих рациональных режимов: сила тока I от 60 до 90А, частота вибрации угольного электрода – от 25 до 50 Гц, амплитуда вибрации угольного электрода – 0,5 - 1,1 мм.



Рис. 1 – Установка ВДГУ-2 для упрочнения: 1 – сварочный инвертор (источник тока); 2 – пульт управления и выбора режимов; 3 – вибратор для закрепления угольного электрода



Рис. 2 – Угольные электроды, используемые при КВДУ

Зажигание дуги при КВДУ осуществляется после затвердевания слоя пасты. Схема технологии карбовибродугового упрочнения приведена на рис. 3.

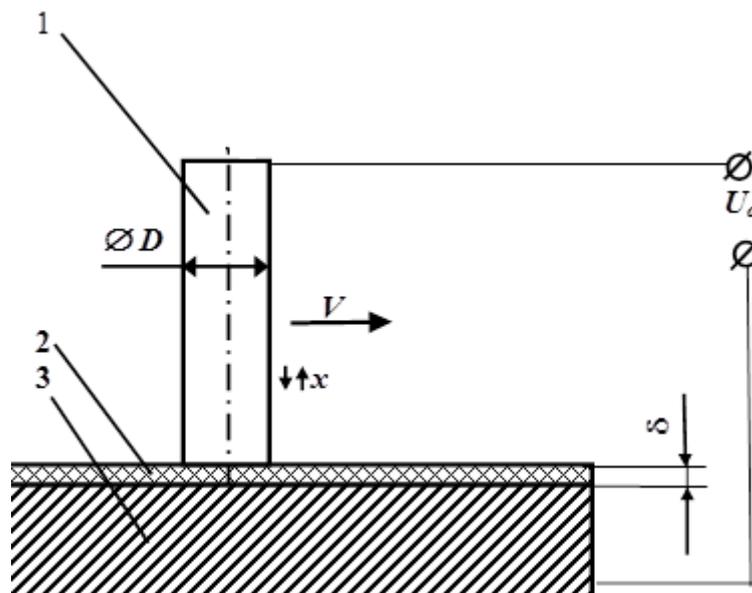


Рис. 3 – Схема КВДУ: 1 – угольный электрод; 2 – слой затвердевшей металлокерамической пасты толщиной δ ; 3 – упрочняемая поверхность

В результате, после возбуждения дуги, на упрочняемой поверхности из элементов пасты образуется металлокерамическое покрытие. Одновременно с последним происходит термодиффузионное насыщение металла упрочняемой поверхности углеродом вследствие сублимации угольного электрода и азотом при использовании в составе паст азотосодержащих компонентов. Вибрация электрода позволяет получить более плотное и прочное металлокерамическое покрытие, а также снижает тепловложения в упрочняемой детали.

Толщина и основные физико-механические свойства металлокерамических покрытий, получаемых при КВДУ, зависят от состава используемых металлокерамических паст и режимов упрочнения.

Матрица является композитным каркасом пасты. В качестве матричного материала в основном используют стальные наплавочные порошки с высокой твердостью и абразивной стойкостью. Проведенный анализ показал, что в качестве матрицы паст, используемых при КВДУ, чаще всего используют порошки ПГ-10Н-01, ПГ-УС25, ПГ-ФБХ6-2, ПГ-СР4, ПР-Н70Х17С3Р4, ПР-НХ17СР4 российского производства, выпускаемые ОАО «Полема» г. Тула. Выбор данных порошков обусловлен их свойствами.

Выбор порошка ПГ-ФБХ 6-2 (ГОСТ 21448) обусловлен тем, что его применяют для различных видов наплавки износостойких покрытий на детали машин металлургического, горнодобывающего и энергетического оборудования, дорожной и сельскохозяйственной техники, шнеков экструдеров и другого оборудования.

В машиностроении довольно широко применяется порошок ПР-НХ17СР4 для наплавки покрытий на ответственные детали, работающие в условиях интенсивного ударно-абразивного изнашивания.

Матрица обеспечивает металлокерамическому покрытию требуемую ударную вязкость.

В качестве твердой составляющей металлокерамических паст, используемых для КВДУ, могут использоваться карбиды, оксиды, нитриды и бориды таких металлов, как бор, вольфрам, титан, хром и других [4]. Эти компоненты имеют высокую температуру плавления и физико-механические свойства. Вместе с тем, при использовании боридов упрочняющие покрытия имеют повышенную хрупкость, а нитриды имеют высокую стоимость и труднодоступны для приобретения. Таким образом, в качестве твердой составляющей металлокерамических паст наиболее часто применяют оксиды и карбиды. При КВДУ в качестве керамических компонентов паст чаще всего используют оксид алюминия Al_2O_3 , оксид кремния SiO_2 , карбид бора B_4C и карбид вольфрама WC [5-6].

Криолит Na_3AlF_6 вводится в состав пасты для улучшения стабильности горения дуги при КВДУ. Этому способствует, главным образом, натрий, входящий в состав криолита [5]. Алюминий, также присутствующий в криолите, выступает как надежный раскислитель. Образующийся при термическом разложении криолита фтор реагирует в расплавленном металле с водородом с образованием соединения HF , которое легко удаляется из сварочной ванны. В результате этого предотвращается образование «водородных» пор.

Результаты исследований [7] свидетельствуют о том, что основное влияние на толщину упрочняющего металлокерамического покрытия, получаемого при КВДУ,

оказывает толщина слоя наносимой пасты: с её повышением толщина покрытия возрастает. Однако увеличивать толщину слоя пасты более 3 мм нецелесообразно, в этом случае толщина металлокерамического покрытия начинает уменьшаться. Это связано с тем, что при значительной толщине слоя пасты хуже зажигается и горит электрическая дуга. С увеличением содержания матричного порошка в составе пасты толщина металлокерамического покрытия также возрастает. При этом наибольшую толщину покрытия – 0,9-1,0 мм (рис. 4) – удалось получить на пастах, содержащих карбид бора B_4C , который обеспечивает наилучшее зажигание и горение дуги при КВДУ.

Основное влияние на микротвёрдость покрытий оказывают керамические компоненты пасты: с увеличением их содержания микротвёрдость покрытия также возрастает. В то же время каждый из керамических компонентов оказывает различное влияние на микротвёрдость покрытия. Так, наибольшее среднее значение микротвёрдости, равное 1291 HV (72 HRC), имеют образцы, упрочнённые с использованием пасты, содержащей 30% карбида бора B_4C . Полученные результаты хорошо согласуются с данными работ [8-9], это можно объяснить тем, что при таком содержании B_4C в составе пасты значительное его количество переходит в металлокерамическое покрытие.

Пасты, содержащие оксид алюминия Al_2O_3 , показывают более низкие значения микротвёрдости покрытий – в среднем 851 HV (66 HRC). Это объясняется тем, что при наплавке в результате воздействия высокой температуры происходит частичное растворение Al_2O_3 с соответствующим снижением твёрдости металлокерамического покрытия. Кроме того, при наличии в составе пасты более чем 20% оксида алюминия хуже зажигается и горит дуга, что сказывается на качестве металлокерамических покрытий. При отсутствии в составе паст керамических компонентов микротвёрдость покрытий является самой низкой. Так, при наличии в составе паст нитрата аммония NH_4NO_3 наибольшее значение микротвёрдости покрытия составляет лишь 679 HV (59 HRC).

Таким образом, проведённые многими авторами исследования позволяют установить, что наиболее оптимальной для упрочнения является паста, содержащая 30% карбида бора или 30% карбида вольфрама. Так пасты, содержащие 30% карбида бора, позволяют увеличить износостойкость деталей из стали 50Г в среднем в 2,32 раза, а пасты с содержанием 30% карбида вольфрама позволяют увеличить износостойкость в 3,56 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Черноиванов В.И. Организация и технология восстановления деталей машин / В.И. Черноиванов, В.П. Лялякин, И.Г. Голубев. - М.: ФГБНУ «Росинформатротех», 2016. - 568 с.

2. Плазменное восстановление и упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих и землеройных машин / И.Н. Кравченко, Ю.А. Кузнецов, И.В. Соколов и др. // Техника и оборудование для села. - 2014. - №10(208). - С. 27-31.
3. Коломейченко А.В. Карбовибродуговое упрочнение - перспективный метод повышения долговечности при изготовлении и восстановлении деталей машин / А.В. Коломейченко, Н.В. Титов // Мир транспорта и технологических машин. - 2016. - №3(54). - С. 3-9.
4. Юдников, А.С. Скоростное электродуговое борирование - эффективный метод упрочнения деталей машин // Машинотехнологическая станция. - 2008. - С. 12-15.
5. Коломейченко, А.В. Влияние керамических компонентов пасты на твердость упрочненных карбовибродуговым методом поверхностей / А.В. Коломейченко, Н.В. Титов, В.В. Виноградов и др. // Труды ГОСНИТИ. - 2015. - Т.118. - С. 140-145.
6. Коломейченко, А.В. Исследование микроструктуры композиционных металлокерамических покрытий, полученных карбовибродуговой наплавкой / А.В. Коломейченко, Н.В. Титов, В.В. Виноградов и др. // Сварочное производство. - 2016. - № 11 - С. 5-8.
7. Повышение ресурса рабочего оборудования карбовибродуговой наплавкой металлокерамических материалов / А.В. Коломейченко, Н.В. Титов, В.Н. Логачев и др. // Строительные и дорожные машины. 2014. № 11. С. 41–45.
8. Коломейченко А.В. Исследование технологических возможностей карбовибродугового метода упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин / А.В. Коломейченко, Н.В. Титов, Н.А. Кондрахин и др. // Техника и оборудование для села. 2015. № 2. С. 24–26.
9. Kolomeichenko A.V., Titov N.V. Investigation of hardness of tillage tools being hardened by carbo-vibro-arc method with paste application // Vestnik OrelGAU. 2014. № 6 (51). P. 96–101.

МЕТОДИКА УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ДЕТАЛЕЙ ГОРНОГО И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ

Шаповалов А.И., Владимиров А.А., Козлов И.Ю.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСИС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42,
tomm_sti_misis@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 доб. 240*

***Аннотация.** В статье приведена методика испытаний деталей, предназначенная для ускоренного испытания и оценки износостойкости деталей, работающих в условиях гидроабразивного изнашивания. Описаны лабораторные установки для проведения испытаний в сухом свободном абразиве и в условиях гидроабразивного изнашивания.*

Ключевые слова: износ; абразивное истирание; гидроабразивное изнашивание; методика.

THE METHODOLOGY OF ACCELERATED TESTING OF PARTS OF MINING AND METALLURGICAL EQUIPMENT OPERATING UNDER CONDITIONS OF INTENSIVE WATERJET WEAR

Shapovalov A.I., Vladimirov A.A., Kozlov I.Yu.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

***Abstract.** The article presents a test procedure for parts designed for accelerated testing and evaluation of wear resistance of parts operating under conditions of waterjet wear. Laboratory installations for conducting tests in dry free abrasive and under conditions of waterjet wear are described.*

Keywords: wear; abrasive abrasion; waterjet wear; technique.

Ответственные детали оборудования в горной и металлургической промышленности, а также в оборудовании для производства строительных материалов и минеральных удобрений, эксплуатируются в сложных условиях многофакторного нагружения. Одним из факторов, который способствует интенсивному изнашиванию и значительному снижению ресурса эксплуатации, является гидроабразивное изнашивание.

Нормативным стандартом ГОСТ 27674-88 [1] определяет изнашивание, как процесс отделения материала с поверхности твердого тела и (или) увеличения его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела. А износостойкость, соответственно, как свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания [1].

С целью повышения износостойкости и, как следствие, общего ресурса работы ответственных деталей в настоящее время многими производителями оборудования, а также эксплуатирующими оборудование организациями проводятся работы по разработке технологий, позволяющих придать ответственным рабочим поверхностям или деталям в целом особые свойства, обеспечивающие увеличенный ресурс эксплуатации.

Оценка планируемого ресурса эксплуатации модернизированных ответственных деталей является важной задачей, позволяющей в дальнейшем сокращать издержки на ремонты и содержание и более рационально планировать различные организационно-технические мероприятия.

В настоящее время существует ряд нормативных документов (стандартов), с помощью которых можно провести оценку эксплуатационных свойств деталей [2 - 8]. Кроме этого, существует ряд стандартов зарубежных стран, которые также позволяют провести оценку требуемых свойств.

Однако все указанные стандарты и разработанные методики имеют один недостаток. Они регламентируют проведение испытаний и оценку результатов при гидроабразивном изнашивании в среде, доля твердой фазы в которой не превышает 40 процентов. В реальности существует оборудование, которое подвергается воздействию гидроабразивного потока с содержанием твердой фазы даже более 60 процентов. А также в условиях реального оборудования возможна эксплуатация с изменяющимся по весовому и объемному содержанию гидроабразивным потоком.

В «Лаборатории восстановления и упрочнения деталей горного и металлургического оборудования» СТИ НИТУ МИСИС за последнее время выполнены ряд работ, направленных на повышение ресурса эксплуатации именно деталей, подверженных интенсивному гидроабразивному изнашиванию с высоким содержанием твердой фазы в потоке.

Для выполнения испытаний в лабораторных условиях и с целью получения прогнозируемого результата за более короткое время были внесены ряд допущений и критериев. Выбор критериев и допущений на основе анализа существующих теорий изнашивания.

В зависимости от скорости течения потока в месте контакта с исследуемым оборудованием, угла атаки гидроабразивного потока на деталь, содержания твердой фазы в потоке, можно условно выделить преимущественно как происходит процесс изнашивания. Преимущественно по механизму сухого трения свободным абразивом или с содержанием большой доли жидкости, по гидроабразивному типу.

Таким образом, условно можно разделить и провести испытания материалов деталей и по сухому свободному абразиву, и в режиме гидроабразивного изнашивания. Это позволит охватить все варианты реального нагружения детали при взаимодействии с потоком.

В общем случае при рассмотрении механизма износа деталей, в большей степени подвергающихся абразивному или гидроабразивному воздействию, следует учитывать возможность проявления следующих основных видов изнашивания: изнашивание материала путем среза или из-за пластической (в том числе много-, цикловой) деформации, хрупкое или усталостное разрушение. Расчеты показывают, что в нормальных условиях хрупкое или усталостное разрушение для таких деталей практически не встречается или встречается очень редко. Таким образом, следует учитывать только два вида разрушения — срез микростружек металла и выбивание отдельных составляющих микроструктуры при первичном или повторном пластическом деформировании.

Процессу абразивного изнашивания посвящены работы М.М. Хрущова, М.А. Бабичева, В.Н. Виноградова, Г.М. Сорокина, М.М. Тененбаума, А.В. Чичинадзе [9] и других, а гидроабразивного изнашивания — работы Д.М. Гаркунова, А.В. Семенова, Г.Е. Лазарева и других [10 – 12].

С учетом вышеуказанных источников была разработана методика, основанная на определении относительной износостойкости. При этом сравнивается фактический износ эталонной детали (образца) и испытываемой. В качестве эталонной, как правило, принимается деталь (материал), эксплуатируемая на данный момент в промышленном оборудовании. В качестве испытываемой детали (образца) принимается деталь или материал, созданный (спроектированный) с целью повышения ресурса эксплуатации. Образцы испытываются при одинаковых условиях, с использованием одного абразива и на одних режимах.

Экспериментальные значения износа образца из материала-аналога и опытного материала определялись в одинаковых условиях и циклах нагружения.

Измерение абразивной стойкости и определение стойкости к гидроабразивному изнашиванию проводятся на лабораторных установках.

Лабораторная установка для определения абразивной стойкости основана на принципе истирания образцов незакрепленным свободным абразивом (рис. 1). Износ

определяется по потере веса образца при определенном времени испытаний. В таких же условиях испытывается эталонный материал; относительная износостойкость определяется как отношение износа эталонного и испытываемого материалов.

В состав установки входит: 1 – резиновое колесо; 2 – абразив сухой; 3 – груз (3 кг); 4 – образец; 5 – нагрузочный рычаг.

В качестве абразивного материала может применяться электрокорунд белый с зернистостью 0,2...0,5 мм или гранат той же фракции. Объем абразива составляет 1,5 дм³. Истирание образца осуществлялось резиновым колесом, имеющим радиусные пазы, которые равномерно расположены по периферии колеса. Колесо установлено на выходном валу червячного редуктора, на который передается вращение с электродвигателя переменного тока посредством ременной передачи. Окружная скорость колеса составляет 28 м/мин. Сила прикладывается на испытываемый образец через нагрузочный рычаг. Смазочная среда не предусмотрена.

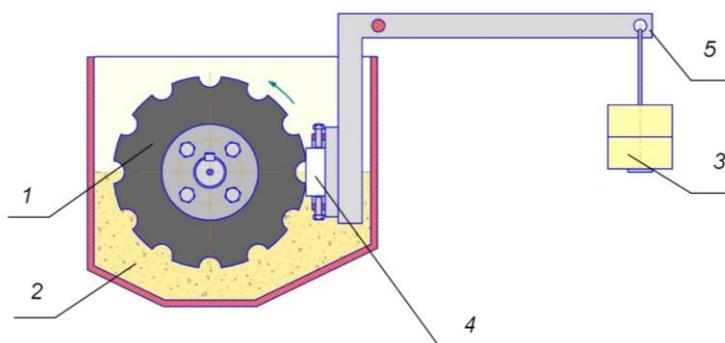


Рис. 1 – Установка для испытаний на абразивный износ

Установка для испытаний на абразивный износ работает следующим образом. Образец 4 закрепляется на нагрузочном рычаге 5. В установку засыпается абразив 2. На рычаг 5 подвешиваются грузы 3. За счет соотношения плечей нагрузочного рычага 5 в соотношении как 2,5:1, образец 4 прижимается к колесу 1 с силой равной 0,225 кН, соответственно. При вращении колесо 1 захватывает абразив 2 и за счет пазов перемещает его вдоль испытываемой поверхности образца 4. За счет этого происходит истирание абразивом 2 поверхностного слоя образца 4.

Сумма указанных выше разниц средних масс является суммарной величиной износа Δ .

Лабораторная установка для определения стойкости к гидроабразивному изнашиванию основана на принципе истирания образцов незакрепленным свободным

абразивом в виде суспензии. В жидкую составляющую суспензии может добавляться NaCl или другой компонент для повышения, например, коррозионной активности среды. Износ определяется по потере веса образца при определенном времени испытаний. В таких же условиях испытывается эталонный материал; относительная износостойкость определяется как отношение износа эталонного и испытываемого материалов.

Принципиальная схема установки приведена на рис. 2.

При проведении исследований в состав установки входит: 1 – образцы в количестве 2 шт.; 2 – державка; 3 – абразивная суспензия; 4 – бак; 5 – шпиндель; 6 – клиноременная передача; 7 – электродвигатель; 8 – пульт управления; 9 – винт; 10 – станина.

Частота вращения регулируется ступенчато.

Состав абразивной суспензии: электрокорунд белый или гранат с зернистостью 0,2...0,63 мм объемом 7 дм³; соль поваренная (NaCl) - 1 кг; вода – 5 дм³.

Установка для определения стойкости к гидроабразивному изнашиванию работает следующим образом. Образцы 1 устанавливаются в державку 2, которая закрепляется в шпинделе 5. Вращение шпинделю 5 с закрепленной державкой 2 передается через клиноременную передачу 6 от электродвигателя 7. Подготовленная абразивная суспензия 3 помещается в баке 4, который установлен на станине 10. За счет перемещения винта 9 державка 2 с закрепленными образцами 1 опускается в суспензию 3.

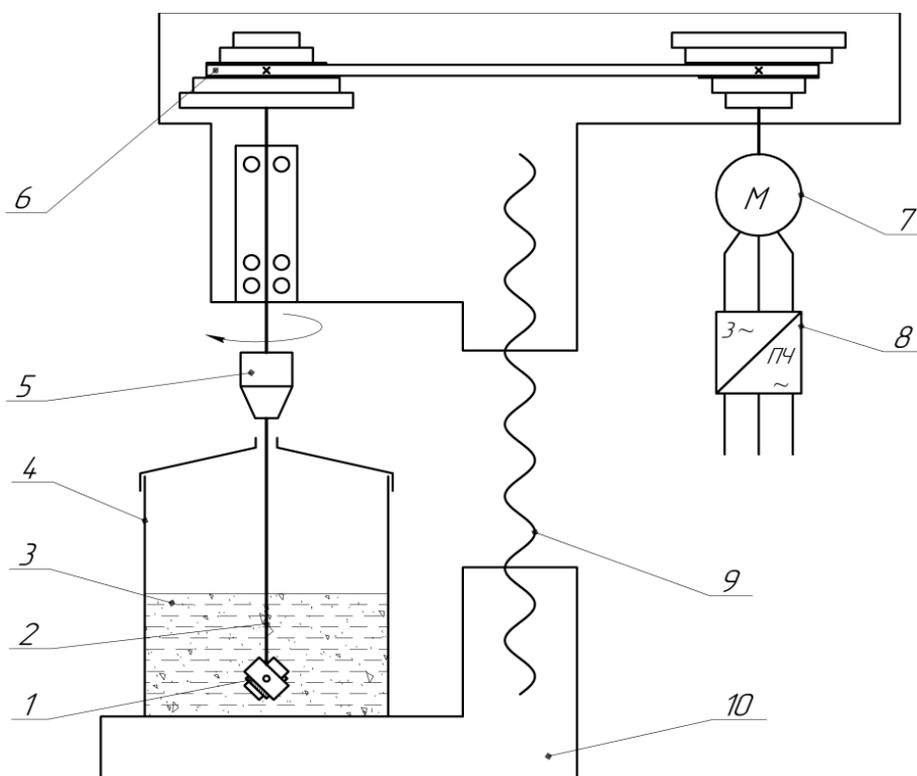


Рис. 2 – Установка для определения стойкости к гидроабразивному изнашиванию

Гидроабразивное изнашивание образцов 1 происходит за счет контакта их поверхности с абразивными частицами и перемещения (вращения) в абразивной суспензии 3.

Одновременно в державке закрепляется по 2 (два) образца. При этом один образец всегда из эталонного материала (материала, который применяется на данный момент в оборудовании), второй образец – с износостойкой поверхностью. При этом в державке образцы закрепляются под углом 30-45° относительно оси вращения (или 45-60° относительно вектора линейной скорости перемещения образцов). Конструкция державки обеспечивает закрепление образцов таким образом, что рабочая (изнашиваемая) поверхность располагается в сторону дна бака. Это обеспечивает перемещение абразива по поверхности образца по касательной и последующее отбрасывание суспензии после контакта с рабочей поверхностью ко дну и на стенки бака. Это в свою очередь обеспечивает отбрасывание объемов суспензии обратно по направлению вращающихся образцов.

Испытания на абразивное и гидроабразивное изнашивание проводятся в несколько циклов. Время каждого цикла испытаний фиксировано. После каждого цикла испытаний образцы взвешиваются не менее 7 (семи) раз. По результатам вычисляется среднее значение массы m_{cp} . Разница средних значений масс двух циклов является величиной износа образца за время одного цикла Δ_N . Сумма указанных выше разниц средних масс является суммарной величиной износа Δ .

Порядок обработки результатов экспериментов для абразивного и гидроабразивного изнашивания включает:

1. После каждого цикла проведения испытаний на абразивную стойкость образцов из низколегированной стали и образцов с наплавкой длительностью 30 мин вычисляется среднее значение массы m_{cp} :

$$m_{cp} = \frac{\sum m_{1-7}}{7}, \quad (1)$$

где m_{1-7} – значения массы образца при каждом из семи измерений.

2. Рассчитывается разница средних значений масс двух циклов (последнего и предыдущего):

$$\Delta_N = m_{cp(N)} - m_{cp(N-1)}, \quad (2)$$

где $m_{cp(N)}$ – среднее значение массы после последнего проведенного цикла испытаний;

$m_{cp(N-1)}$ – среднее значение массы после предыдущего проведенного цикла испытаний.

3. Вычисляется суммарная величина износа за 7 циклов испытаний для образца из низколегированной стали:

$$\Delta_{ан} = \sum_1^7 \Delta_N \quad (3)$$

4. Вычисляется суммарная величина износа за 7 циклов испытаний для образца с износостойкой наплавкой:

$$\Delta_{\text{расч}} = \sum_1^7 \Delta_N \quad (4)$$

5. Для каждого экспериментального материала с повышенной износостойкостью по формуле (1) рассчитывается значение коэффициента относительной износостойкости:

$$k_{\text{и}} = \Delta_{\text{ан}} \cdot \frac{k_{\text{и,ан}}}{\Delta_{\text{расч}}} \quad (5)$$

Полученное значение коэффициента относительной износостойкости указывает на значение увеличение ресурса эксплуатации деталей относительно применяемых на данный момент материалов и технологических решений.

Актуальность и достоверность разработанной методики подтверждена в ходе реализованных СТИ НИТУ МИСИС научно-исследовательских работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 27674—88 Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения. Введ. 01.01.89. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 21 с.
2. ГОСТ 23.225-99 Обеспечение износостойкости изделий. Методы подтверждения износостойкости. Введ. 01.07.2000. – М.: Издательство стандартов, 2000. – 18 с.
3. ГОСТ 23.201-78 Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания материалов и покрытий на газоабразивное изнашивание с помощью центробежного ускорителя. Введ. 01.01.79. – М.: Издательство стандартов, 1979. – 9 с.
4. ГОСТ 23.205-79 Обеспечение износостойкости изделий. Ускоренные ресурсные испытания с периодическим форсированием режима. Введ. 01.01.80. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 8 с.
5. ГОСТ 23.207-79 Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания машиностроительных материалов на ударно-абразивное изнашивание. Введ. 01.01.81. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 5 с.
6. ГОСТ 23.208-79 Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы. Введ. 01.03.81. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 5 с.
7. ГОСТ 23.219-84 Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытаний на износостойкость материалов и деталей при гидроэрозионном изнашивании дисперсными частицами. Введ. 01.01.86. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 14 с.

8. ГОСТ 30480-97 Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость. Общие требования. Введ. 01.07.97. – Минск.: Межгосударственный совет по стандартизации и метрологии, 1998. – 15 с.
9. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; Под общ. Ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение. 2003. 576 с.
10. Гаркунов Д.Н. Триботехника. Износ и безызносность. М.: Изд. МСХА, 2001. 616 с.
11. Гаркунов Д.Н., Бондюгин В.Н., Быченков В.И. Вопросы и ответы по триботехнике // Эффект безызносности и триботехнологии. 1992. № 1. С. 55–69.
12. Гриб В.В., Лазарев Г.Е. Лабораторные испытания материалов на трение и износ. М.: Наука, 1968. 141 с.

**МИНЕРАЛЬНЫЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ, КАК ЭФФЕКТИВНАЯ
АЛЬТЕРНАТИВА ПРИМЕНЕНИЯ БАББИТА В УЗЛАХ ТРЕНИЯ ГОРНОГО
И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Поляков Р.Н.¹, Шаповалов А.И.², Кислов С.В.³

¹ ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29

² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»

Polyakov R.N.¹, Shapovalov A.I.², Kislov S.V.³

¹ FGBOU VO "OSU named after I.S. Turgenev"

302020, Orel, Naugorskoe highway, 29

² Starooskolsky Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Institute of Technology "MISIS"309516, Russia, Stary Oskol,

³ LLC Scientific and Production Center "Technologies of mineral coatings", Kaluga, 12 V Parkovaya str., Russia

***Аннотация.** В статье рассмотрены основные проблемы, возникающие при эксплуатации подшипников скольжения с баббитовым антифрикционным слоем. Обоснована возможная эффективность замены баббита на минеральные покрытия с более высокими эксплуатационными характеристиками.*

Ключевые слова: антифрикционные материалы; баббит; минеральные покрытия; подшипник скольжения; коэффициент трения; интенсивность изнашивания.

**MINERAL ANTIFRICTION COATINGS AS AN EFFECTIVE ALTERNATIVE
TO THE USE OF BABBIT IN FRICTION UNITS OF MINING AND METALLURGICAL
EQUIPMENT**

Polyakov R.N., Shapovalov A.I., Kislov S.V.

***Abstract.** The article discusses the main problems that arise during the operation of sliding bearings with a babbitt antifriction layer. The possible effectiveness of replacing babbitt with mineral coatings with higher performance characteristics is substantiated.*

Keywords: antifriction materials; babbitt; mineral coatings; sliding bearing; coefficient of friction; wear rate.

В настоящее время в горной и металлургической промышленности эксплуатируется большое количество оборудования, в которых в узлах трения установлены подшипники скольжения с применением в качестве антифрикционного материала баббита. Номенклатура применения таких подшипников достаточно обширна. И если для тихоходных подшипников скольжения или установленных в некритичном с точки зрения производства или ремонта оборудовании их выход из строя является допустимым с точки зрения величины финансовых затрат, то надежность подшипников скольжения ответственного и критически важного оборудования оказывает огромное влияние на выполнение производственной программы и финансовых показателей предприятия в целом.

Например, к таким подшипникам относятся:

- опорные и коренные подшипники шаровых мельниц (рисунок 1);
- втулки-вкладыши подшипников жидкостного трения (ПЖТ) прокатных клетей мелкосортных и среднесортных станов (рисунок 2);
- подшипники скольжения электродвигателей постоянного тока привода прокатных клетей крупносортных станов (рисунок 3).

Большинство подшипников скольжения указанной номенклатуры изготавливаются методом заливки баббитового сплава. Если позволяет размер подшипника (узла трения), то заливку производят центробежным способом.

Конструкции подшипниковых узлов, особенности технологии получения антифрикционного слоя на основе баббита, а также свойства самого баббита, как антифрикционного материала определяют определенные недостатки подшипников скольжения, которые критически могут проявляться в процессе эксплуатации. К таким недостаткам относятся:

- низкое сопротивление усталости, что ухудшает работоспособность подшипника, особенно эксплуатируемого в условиях частого цикла нагревания и остывания (пуска/остановки или смены режимов работы);
- выкрашивание;
- низкое сопротивление вибрации при расцентровке или разбалансировке роторов;
- критическая чувствительность к режимам смазки, качеству масла, работе масляного насоса;
- высокая скорость выхода из строя даже при кратковременном падении давления масла и возникновении подплавления или разрушения баббита;
- значительные потери и нагрузки из-за сухого трения (в период пуска, особенно тяжелых роторов);
- большие осевые зазоры для гарантированного поддержания масляного клина;

- большие расходы на смазку для обеспечения теплоотвода и поддержания температурного режима.

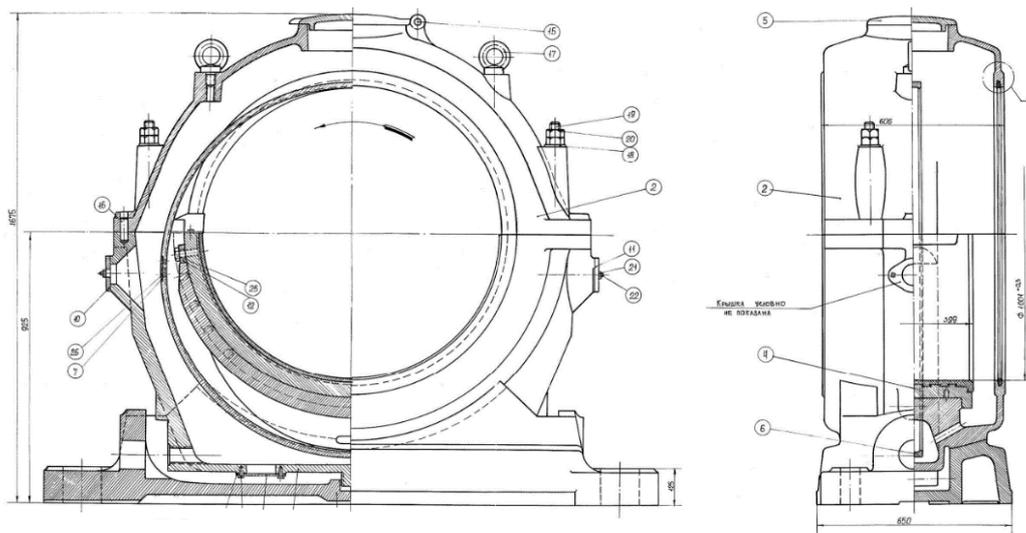


Рис. 1 – Коренной подшипник скольжения шаровой мельницы

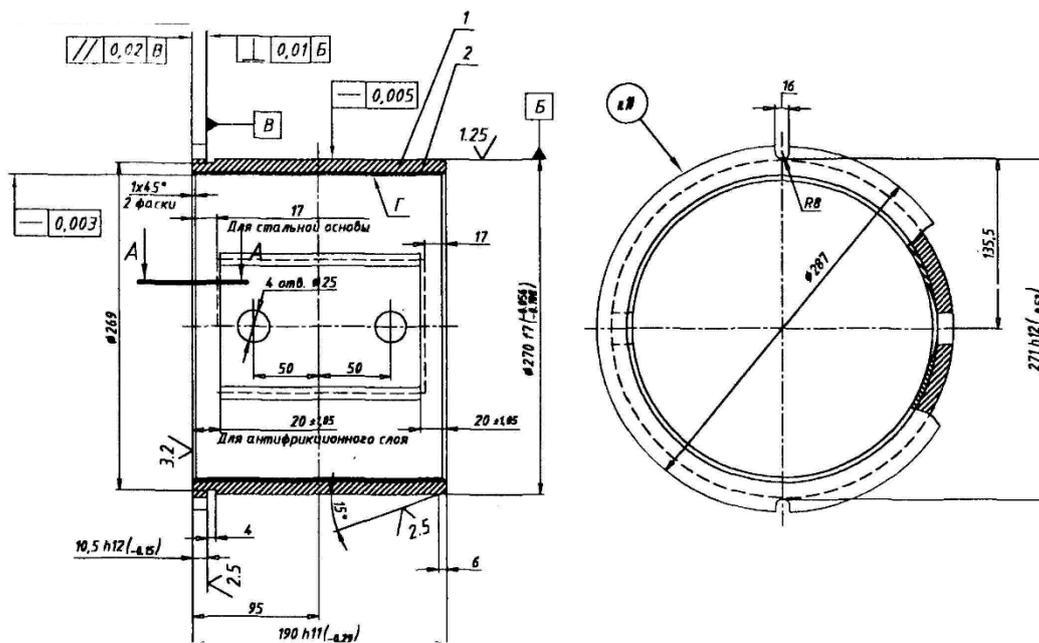
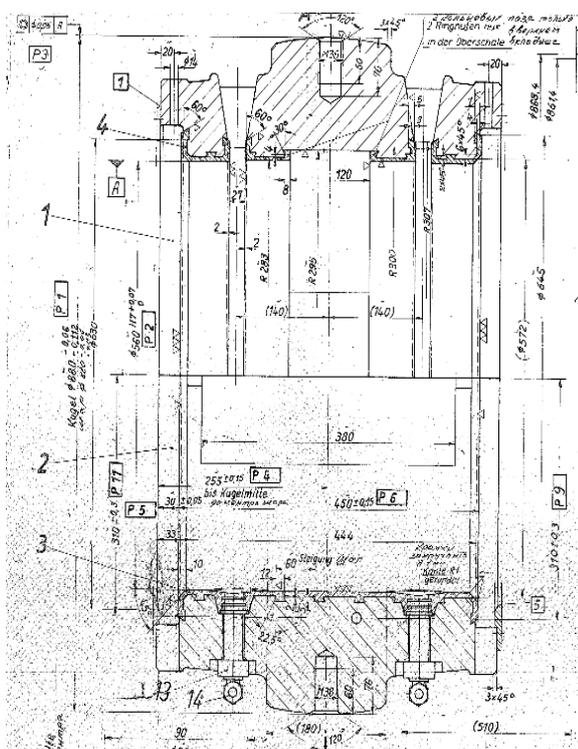


Рис. 2 – Втулка-вкладыш подшипников жидкостного трения (ПЖТ) 250x190 стана 350



а)

б)

Рис. 3 – Подшипник скольжения электродвигателя постоянного тока SIEMENS привода прокатных клетей стана 700: а) чертеж подшипника; б) внешний вид

Указанные выше недостатки при работе ответственного оборудования при возникновении режимов работы, отличающихся от номинальных, гарантированно приводят к критическому повреждению подшипника и выводу из эксплуатации оборудования.

Низкая твердость и прочность баббита, как конструкционного материала, приводит к сколам, деформациям и разрушениям антифрикционного слоя вследствие воздействия динамических или ударных нагрузок. При этом появление этих нагрузок связано с технологическим режимом работы оборудования, то есть, например, перемещение загрузки в барабане мельницы, прохождение металла через прокатные валки и подобные процессы. А прочностные характеристики слоя определяются не только маркой баббита и его составом, но и технологией заливки и наличием дефектов в структуре антифрикционного слоя.

Недостаточная теплостойкость материала может привести к оплавлению и деформации слоя при недостаточном объеме смазки или нарушении режима теплоотвода. Если режим работы без масла у подшипника скольжения не кратковременный, это может привести к возгоранию подшипника. В большинстве случаев отсутствие смазки в подшипниках скольжения является следствием выхода из строя смазочного или гидравлического оборудования, а также в следствии недостаточного контроля со стороны персонала за чистотой масла.

Также значительные повреждения и деформации антифрикционный слой подшипников скольжения получает при пусках и остановках агрегата, то есть в режимах сухого или граничного трения. До образования устойчивого масляного клина.

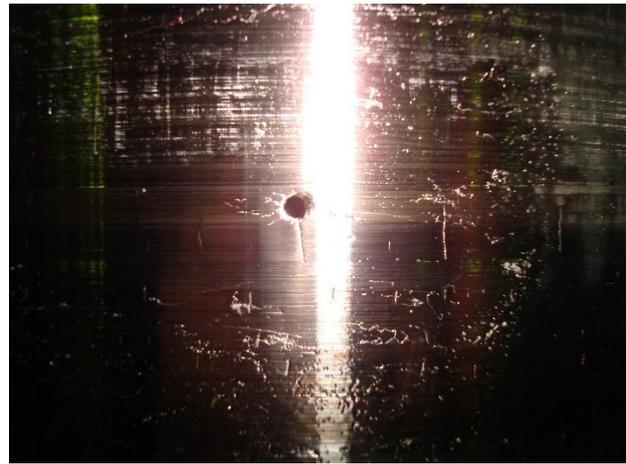
Указанные выше факторы приводят к тому, что нарушается стабильность работы оборудования и появляется большая вероятность возникновения внеплановых простоев оборудования, а контроль за работой подшипников скольжения и прогнозирование их работоспособности требует значительных материальных и временных затрат.

Анализируя причины выхода из строя подшипников и их последствия, можно предположить, что увеличение твердости и теплостойкости антифрикционного слоя позволит повысить срок службы подшипников и избежать последствий возникновения аварийных ситуаций. Этому пытаются достигнуть путем создания новых композитных антифрикционных материалов, как зарубежные производители, так и отечественные [1]. Композитные или полимерные материалы в некоторых случаях могут служить альтернативой баббиту. Но увеличение твердости композита может привести и к ухудшению показателя работы подшипника. Связано это как раз с повышенной микротвердостью композитных покрытий. При даже небольшом повреждении покрытия процесс его разрушения развивается лавинообразно. При этом частицы разрушаемого покрытия, за счет высокой микротвердости, повреждают поверхность второй части подшипника. Например, втулки-цапфы в подшипниках ПЖТ. Пример разрушенного композитного покрытия фирмы Belzona (Швейцария) в подшипнике жидкостного трения стана 350 представлен на рисунке 4.

Причиной этого является то, что между покрытием и основой всегда существует граница раздела. И для длительной эксплуатации необходимо выполнить условие соблюдения технологии нанесения покрытия и отсутствия скрытых дефектов. При этом подбор композитного покрытия затрудняется тем, что коэффициент термического расширения покрытия и основы детали должен быть близок, так как при высокой твердости композитное покрытие имеет невысокую пластичность.



а)



б)

Рис. 4 – Подшипник скольжения с композитным покрытием после разрушения антифрикционного слоя: а) втулка-вкладыш с отслоением композитного слоя; б) втулка-цапфа с повреждениями поверхности частицами отслоившегося композитного покрытия

Одним из перспективных способов создания высокоэффективных антифрикционных слоев в подшипниках скольжения, свободного от указанных выше недостатков, является применение минеральных износостойких антифрикционных покрытий.

Основные идеи, положенные в основу применения природных минеральных материалов в различных областях техники сформулированы В.И. Вернадским и А.Е. Ферсманом в первой половине 20-го века. Свойства мелкодисперсных минеральных материалов начали изучать в нашей стране, начиная с 30-х годов. Со второй половине 60-х годов, в связи с развитием космонавтики, атомной промышленности, минеральные материалы начали применяться для обеспечения надёжности механизмов и узлов, работающих в экстремальных условиях. Основа инновационной именно промышленной технологии минеральных покрытий для повышения износостойкости деталей была создана в России в период 2009—2013 г. [2]. Научно-производственное объединение «Технологии минеральных покрытий» [3] разработало уникальную технологию получения поверхностей трения с улучшенными качествами.

Здесь нужно подчеркнуть, что технология минеральных покрытий создает не покрытие как таковое, а модифицированный слой глубиной до 50 мкм [4] (рисунок 5). Учитывая, что термин «минеральное покрытие» является достаточно распространенным и устоявшимся, используют его, подразумевая под этим термином поверхностный слой металлического образца или детали, обогащенный минералами.

Суть технологии заключается в создании модифицированного слоя, обычно от 5 до 50 мкм от поверхности металла, путем пластического деформирования поверхностного слоя,

используя ультразвуковое, механическое воздействие, а также технологические процедуры, охраняемые в режиме ноу-хау, сопровождающее диффузию ультрадисперсных частиц минералов в объем металла. Технология не изменяет геометрические размеры деталей, минеральные слои могут быть созданы локально, все технологические операции проводятся на воздухе при комнатной температуре.

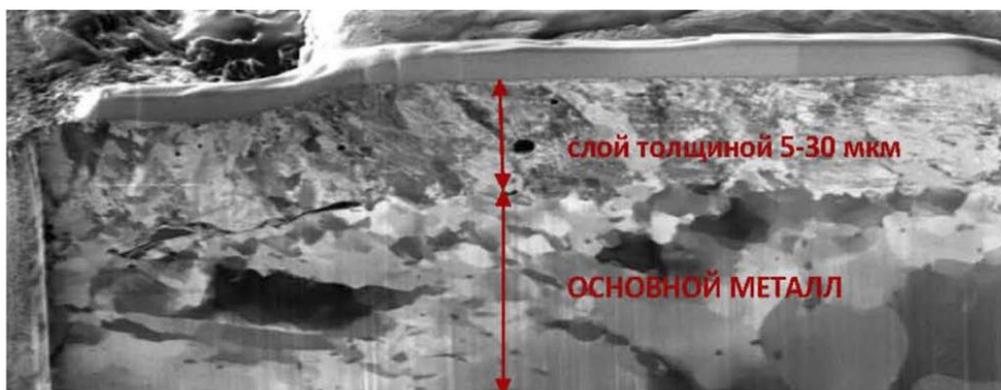


Рис. 5 – Поперечное сечение обработанного образца из стали 12X13 [4]

Основные виды минеральных материалов, используемые при создании покрытий [5], приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Число разновидностей минералов, используемых в минеральных покрытиях

Минерал	Число применяемых разновидностей
Серпентиниты $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	28
Ряд SiO_2	18
Ряд Al_2O_3	10
Жадеит $NaAlSi_2O_6$	4
Графит	2
Алмазы	3
Слюды [например, $KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$]	4
Циркон $Zr[SiO_4]$	2
Бадделеит ZrO_2	1
Эвдиалит $Na_4(CaCeFeMn)_2ZrSi_6O_{17}(OHCl)_2$	1
Оливин $Mg_{1,8}Fe_{0,2}[SiO_4]$	3
Ряд форстерита Mg_2SiO_4	4
Комбинированные вещества	10

При этом следует отметить, что гранулометрический состав применяемых материалов может варьироваться в диапазоне от 0,1 мкм до 50 мкм.

Исследования свойств минеральных покрытий показало их высокую эффективность и соответствие всем заявленным производителем показателей.

В рамках совместного российско-германского проекта «Разработка минеральных покрытий для поверхностей пар трения деталей турбинного и насосного оборудования» в институте ВАМ [6] проведены исследования пары трения «сталь-сталь», которые показали снижение не только интенсивности изнашивания, но и снижение коэффициента трения.

На базе триботехнической лаборатории завода ZOB (КНР) [7] проведены испытания образцов из стали, биметалла и образцов с минеральным покрытием в двух режимах трения: сухое трение и в масляной ванне, что соответствует режиму граничного трения. В результате проведения серии экспериментов установлено, что относительно коэффициентов трения и интенсивности изнашивания в режиме граничного трения наилучшие показатели имеют образцы с минеральными покрытиями. При этом интенсивность изнашивания в режиме сухого трения уменьшается в 2,5...3 раза по сравнению с образцами из стали или биметалла [8].

Очевидно, что диффундирование минеральных частиц сквозь поверхностный слой металла формирует модифицированную поверхность с улучшенными качествами по износостойкости, твёрдости и антифрикционным свойствам.

Выводы:

1. Возможно создание минеральных покрытий по антифрикционным свойствам, износостойкости и коэффициенту трения аналогичных баббиту, применяемому в подшипниках скольжения.

2. Подшипники скольжения с минеральным покрытием будут лишены недостатков, свойственным традиционным подшипникам скольжения с баббитом. За счет того, что покрытие является продуктом диффундирования частиц в основу поверхности детали, исключается риск отслаивания покрытия.

3. ООО «НПЦ «Технологии минеральных покрытий» отработаны технологические операции, позволяющие создавать покрытия с уникальными свойствами по твердости, износостойкости и теплостойкости, которые позволят эффективно эксплуатировать подшипник скольжения не только в режиме устоявшегося масляного клина, но и в режимах сухого и граничного трения.

4. Внедрение подшипников скольжения с антифрикционными минеральными покрытиями позволит повысить надежность работы ответственного горного и металлургического оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. НПК Промышленные технологии. [Электронный ресурс]. 2024. URL: <http://www.npk-promtech.ru> (дата обращения 07.11.2024).
2. Способ формирования комбинированного минерального поверхностного слоя на металлических деталях, защищающего их от воздействия агрессивных сред и с заданными триботехническими свойствами : пат. 2421548 Рос. Федерация / С. В. Кислов, В. Г. Кислов, С. Ю. Лазарев ; заявл. 2009142259/02 ; опубл. 18.11.2009.
3. НПЦ Технологии минеральных покрытий. [Электронный ресурс]. 2024. URL:<https://mico-tech.com> (дата обращения 10.10.2024).
4. Кислов С. В. Эффективные минеральные покрытия для упрочнения поверхности металлических материалов / С. В. Кислов, В. Г. Кислов, А. В. Сказочкин, Г. Г. Бондаренко, А. Н. Тихонов // *Металлы*. — 2015. — № 4. — С. 56—63.
5. Kislov S. Localized hardening and structuring of steel by a simple process / S. Kislov, V. Kislov, P. Ostrovsky, M. Woydt // 53 Tribologie Fachtagung «Reibung, Schmierung und Verschleiß» der GfT in Göttingen, Göttingen, 24.09—26.09.2012, Herstellung: Druckservice Zillekens. — Bd. 2. — P. 49/1—49/7.
6. Kislov S. Localized hardening and structuring of steel by a simple process / S. Kislov, V. Kislov, P. Ostrovsky, M. Woydt // 53 Tribologie Fachtagung «Reibung, Schmierung und Verschleiß» der GfT in Göttingen, Göttingen, 24.09—26.09.2012, Herstellung: Druckservice Zillekens. — Bd. 2. — P. 49/1—49/7.
7. ЗАО «Чжэцзянская компания по производству безмаслянных подшипников «Шуанфей». [Электронный ресурс]. 2024. URL: <http://www.zobcn.com> (дата обращения 10.11.2024).
8. Чжоу Инчунь, Кислов С.В., Ли Шэнбо, Ху Джиган, Поляков Р.Н., Савин Л.А. Триботехнические качества поверхностей трения с минеральными покрытиями / *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2024, №2 (364). С. 64-71.

СЕКЦИЯ 4 «АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»

УДК 65.011.56

О ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ПРИ РАЗРАБОТКИ НАДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ПЕЧАХ НАГРЕВА

Алейник О.С.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Уварова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС») 309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, oksanaaleinik@mail.ru

***Аннотация.** Статья посвящена исследованию по поиску зависимости давления в печи от различных параметров с использованием регрессионного анализа.*

Ключевые слова: регрессионный анализ; нейронные сети; нагревательная печь; многозонная печь нагрева; давление в печи нагрева.

ON THE USE OF REGRESSION ANALYSIS IN THE DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR THE PRESSURE CONTROL CIRCUIT IN HEATING FURNACES

Aleinik O.S.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Educational Institution of Higher Education «National Research Technological Institute «MISIS» 309516, Russia, Stary Oskol, microdistrict named after Makarenko, 42 oksanaaleinik@mail.ru

***Abstract.** The article is devoted to the study of the dependence of furnace pressure on various parameters using regression analysis.*

Keywords: regression analysis; neural networks; heating furnace; multi-zone heating furnace; pressure in the heating furnace.

Предприятия черной металлургии используют металлургические печи. Одними из основных являются печи нагрева – это высокотемпературные агрегаты, источником тепла в

которых являются высокотемпературные продукты сгорания в топливных печах. Более 25% потребляемого топлива расходуется как раз при нагреве металла. Чем выше расход топлива, тем выше стоимость готовой продукции [1]. Поэтому необходимо точное управление технологическим объектом, так как энергосбережение является важным этапом в современном производстве. Теплогенерация в топливных печах – это преобразование химической энергии топлива в тепловую в процессе горения.

Процесс горения состоит из стадий:

- перемешивание топлива с воздухом, обеспечивающее контакт молекул топлива и кислорода (эта стадия самая медленная);
- нагрев смеси топлива с воздухом до температуры воспламенения от внешнего источника тепла (факела раскалённых поверхностей, запальника);
- химическая реакция окисления горючих компонентов топлива, которая происходит очень быстро с преобразованием высокотемпературных газообразных продуктов реакции (дымовых газов);
- непрерывное удаление дымовых газов из зоны горения.

Печи нагрева используются с целью изменения свойств металла, поэтому нагрев литой заготовки является одним из основных этапов производства. Данный этап позволяет влиять на изменения кристаллической решетки, то есть металл подвергается вторичной кристаллизации, благодаря чему получается достичь необходимых свойств материала, высокого качества и надежности заготовки [2,3].

Печи пытаются усовершенствовать с каждым годом, поэтому проводится ряд исследований, которые направлены на изучение как физической составляющей печей, так и в области управления, за счет изменения параметров ПИД-регулятора [4,5,6].

Оба направления исследований имеют общую цель – это снизить потребление топливно-энергетических ресурсов при тепловой обработке металла в печах прокатного производства. Только физические исследования подразумевают решение задач с помощью реконструкции тепловых агрегатов, что обеспечит интенсификацию теплообмена в рабочем пространстве печей. Но для этого необходимо полностью останавливать печь и модернизировать ее под новое оборудование [7]. Что касается второго направления исследований, то в нем не учитывается фактор энергоэффективности и наличие малого количества переходного процесса [8].

Управление печами происходит с помощью классического контура регулирования, в котором используется ПИД-регулятор. ПИД-регулятор (пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор) — это устройство, которое используется для автоматического управления процессами, обеспечивая поддержание заданного уровня

параметров, таких как давление, температура и т. д. В работе рассматривается работа ПИД-регулятора в контексте управления давлением в системе.

Когда давление в системе начинает падать, ПИД-регулятор фиксирует это отклонение от заданного уровня. В ответ на падение давления регулятор начинает закрывать шибер, что должно привести к увеличению давления в системе. Однако, если давление продолжает снижаться, регулятор интерпретирует это как необходимость дальнейшего закрытия шибера, чтобы компенсировать снижение давления и вернуть его к заданному уровню. Классическая схема управления контуром давления представлена на рисунке 1.

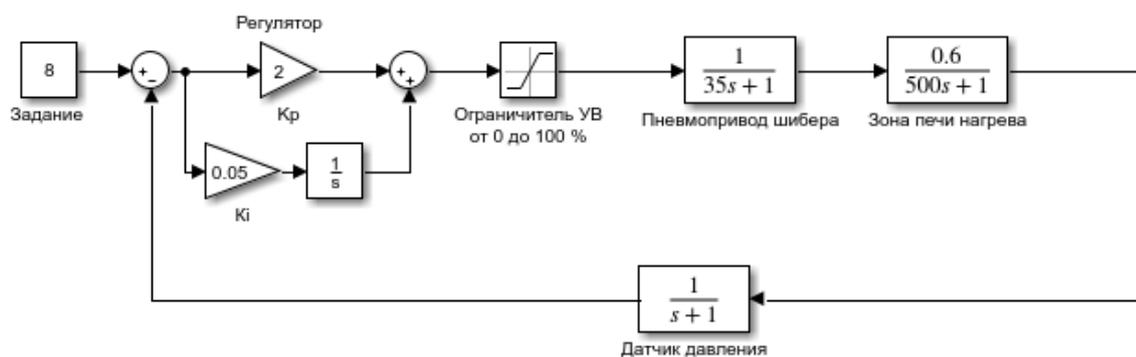


Рис. 1 – Схема управления

При открытии заслонок, например, во время выгрузки металла, печь частично теряет герметичность, что приводит к резкому падению давления и изменению тепломассоперетока внутри печи в сторону дымовых каналов. Это изменение может вызвать активную реакцию ПИД-регулятора, который будет стремиться закрыть шибер для восстановления давления. При этом, изменение давления и тепломассового перетока, приведет изменению температур в зонах, что снизит качество регулирования температур.

Таким образом, ПИД-регулятор работает по принципу обратной связи, постоянно сравнивая текущее давление с заданным значением и корректируя положение заслонок для достижения стабильного состояния системы. Важно также учитывать, что эффективность работы регулятора может зависеть от параметров настройки, таких как коэффициенты пропорциональности и интегрирования, которые определяют скорость и степень реакции на изменения в системе.

Давление в печи зависит от положения шибера, который влияет на переток дымовых газов в трубу и текущей тепловой мощности печи, что является следствием из уравнения Менделеева-Клапейрона для идеальных газов, оно служит основой для понимания того, как изменения в системе влияют на давление.

Данное уравнение имеет следующий вид: $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ (1), где:

- P – давление, Па;
- V – объем печи, м^3 ;
- n – количество вещества, моль;
- R – постоянная Больцмана, которая равна 8,31431 Дж/(моль·К);
- T – температура, К.

За счет того, что объем печи V , универсальная газовая постоянная R и температура T остаются неизменными, то давление P в идеальном газе зависит только от количества вещества, то есть от газовой смеси n и от открытия шиберов.

Контур управления давлением уделяют недостаточное внимание, хотя это один из важных и нужных процессов [9]. Управление на основе ПИД-регулятора уже не обеспечивает требуемый уровень точности, так как не учитывается открытие/закрытие заслонки, которая влияет на технологический процесс. Поэтому для повышения точности работы необходимо учесть данный параметр, чтобы предиктивно управлять давлением на основе данных из систем АСУ ТП, где известен момент выгрузки заготовки. Данный способ будет реализован на основе регрессионного анализа и нейронных сетей. Необходимо получить регрессионную модель зависимости давления от расхода газа и закрытия заслонки. Наличие данной модели позволит построить инверсный регулятор что даст возможность предиктивно учитывать моменты открытия и закрытия заслонки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Бирюков А.Б., Иванова А.А. Диагностика температурного состояния металла при его тепловой обработке в печах непрерывного действия // *Металлург*. 2018. № 4. С. 33-37.
2. Курбатов Ю. Л., Бирюков А. Б., Рубан Ю. Е. *Металлургические печи* // учебное пособие для вузов/ЮЛ Курбатов, ЮЕ Василенко.-Донецк: ГВУЗ “ДонНТУ. – 2013. Киселев Е.В., Исследование газодинамики и конвективного теплообмена в пламенных нагревательных печах //
3. Костышев В. А., Питюгов М. С. Влияние температуры нагрева токами высокой частоты на структуру и свойства заготовок из сплава ВТ9 под высокоскоростную штамповку // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика СП Королёва (национального исследовательского университета)*. – 2013. – №. 1 (39). – С. 143-147. Бирюков А.Б., Иванова А.А. Диагностика температурного состояния металла при его тепловой обработке в печах непрерывного действия // *Металлург*. 2018. № 4. С. 33-37.

4. Бирюков, А. Б. Методика прогнозирования теплотехнической эффективности использования рекуперативных горелок / А. Б. Бирюков, П. А. Гнитиев, Я. С. Власов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2018. – № 1. – С. 13-19.
5. Панферов, В. И. К решению задачи контроля температуры металла в АСУ ТП методических печей / В. И. Панферов, С. В. Панферов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallurgy. – 2021. – Т. 21. – № 4. – С. 63-75.
6. Начкебия Н.С., Бирюков А.Б Анализ расчетных методов и математических моделей теплообменных процессов в насадках регенеративных горелок / Вестник ДонНУ. Серия Г: Технические науки. – 2023. – № 1.
7. Киселев Е. В. Исследование газодинамики и конвективного теплообмена в пламенных нагревательных печах. – 2003.
8. Фомин А. В., Глущенко А. И. Повышение качества управления нагревательными печами АО" ОЭМК" путем применения табличной адаптации параметров пи-регуляторов. Improving quality of control of heating furnaces of jsc" oemk" with use of tabular adaptation of parameters of pi controllers //Металлург. – 2019. – №. 3. – с. 37-42.
9. Фомин, А. В. Разработка функциональной схемы межконтурных взаимодействий в нагревательных печах на примере печей нагрева металла АО «ОЭМК им. А.А. Угарова» / А. В. Фомин // Автоматизация в промышленности. – 2024. – № 7. – С. 46-49. – DOI 10.25728/avtprom.2024.07.08. – EDN QTQENZ.

О ПОВЫШЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ

Анпилов А.О., Будовской И.И.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
alexandr743274@yandex.ru, budovskoj@bk.ru

***Аннотация.** Исследование посвящено анализу принципов работы основных видов фильтров. Рассматриваются основные технологические параметры процесса обезвоживания, недостатки существующей системы управления технологическим процессом, а также производится постановка задачи на её модернизацию.*

Ключевые слова: обезвоживание; дисковый вакуум-фильтр; барабанный вакуум-фильтр; ленточный вакуум-фильтр; гипербарифильтр; керамический дисковый фильтр.

ABOUT INCREASING THE PRODUCTIVITY OF THE DEHYDRATION PROCESS

Anpilov A.O., Budovskaya I.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The study is devoted to the analysis of the principles of operation of the main types of filters. The main technological parameters of the dehydration process, the disadvantages of the existing process control system are considered, and the task of its modernization is set.*

Keywords: dehydration; disk vacuum filter; drum vacuum filters; belt vacuum filter; hyperbarifilter; ceramic disc filter.

Обезвоживание осадка — процесс уменьшения в нём содержания влаги. Данный процесс может производиться с помощью вакуумных фильтров. Они используются в различных отраслях промышленности, включая химическую, нефтехимическую, пищевую и биотехнологическую, для очистки и разделения различных веществ [1].

Для обезвоживания пульпы может применяться дисковый вакуум-фильтр. Основным узлом данного агрегата является опорный вал. На нём установлены секторы дисков, обтянутые фильтротканью. К торцам опорного вала прижаты всасывающие головки. Они

соединены коммуникациями вакуум-системой и системой отдувки осадка. Также в состав дискового вакуум-фильтра входит ванна роторной мешалкой.

Работа дискового вакуум-фильтра складывается из нескольких этапов, которые следуют друг за другом. При вращении опорного вала секторы дисков поочередно погружаются в пульпу, находящуюся в ванне. Вакуум-насосом в секторах создаётся разрежение. Из-за разности давлений внутри и снаружи сектора на фильтроткани образуется слой осадка. При дальнейшем вращении опорного вала, полученный осадок на секторах выносится из пульпы. Секторы дисков переходят из зоны набора осадка в зону сушки, которая отличается более высоким вакуумом. Затем секторы переходят в зону отдувки. Одновременно с этим подача разрежения прекращается и в полость секторов подаётся сжатый воздух, под действием которого осадок отделяется от фильтроткани и падает за край ванны на конвейер под вакуум-фильтром. Потом процесс повторяется заново.

Для обезвоживания пульп также могут использоваться барабанные вакуум-фильтры. Основной узел данных фильтров — цилиндрический барабан, расположенный горизонтально и частично находящийся в ёмкости. В неё закачивается пульпа для обезвоживания. Барабан состоит из двух слоёв: сплошного внутреннего и перфорированного наружного. Последний обтянут фильтротканью. Внутреннее пространство барабана делится на секции. При вращении барабана секции поочередно погружаются в пульпу. В эти моменты времени происходит их подключение к соответствующим камерам распределительной головки [2]. Дальнейшая работа барабанного фильтра аналогична работе дискового.

Фильтрации пульп может производиться с помощью ленточного вакуум-фильтра. Этот агрегат состоит из двух узлов: фильтровального стола и бесконечной ленты. В средней части фильтровального стола имеется прорезь. Она соединена с коллектором для сбора фильтрата. Рабочая поверхность ленты имеет поперечные желоба для отвода фильтрата и прорези как в фильтровальном столе. Фильтроткань закреплена на ленте. Её края загибаются так, что она принимает желобообразную форму. Фильтрат отводится с внутренней стороны ленты через прорези [2].

В процессе обезвоживания могут использоваться гипербарфильтры. Они аналогичны дисковым вакуум-фильтрам. Основным отличием их от последних является тот факт, что опорный вал с дисками, распределительные головки и ванна расположены и в сосуде под давлением. В сосуде также установлен транспортер и шлюз для выгрузки обезвоженного осадка. Процесс фильтрования осуществляется под действием избыточного давления в сосуде. Сброс осадка с дисков производится подачей сжатого воздуха под давлением большим чем давление в сосуде [3].

Основным элементом керамического дискового фильтра являются керамические фильтрующие элементы. При вращении опорного вала данные элементы погружаются в пульпу. Под действием капиллярных сил на секторе происходит образование осадка. Вакуум-насос отводит фильтрат из полости сектора. Обезвоженный осадок удаляется с поверхности секторов ножами. Затем секторы переходят в следующую зону, где подаётся небольшая порция воды внутрь сектора для активации его фильтрующей поверхности [4].

Рассмотрим подробно управление наиболее распространёнными дисковыми вакуум-фильтрами. Основными технологическими параметрами, влияющими на процесс обезвоживания являются: частота вращения дисков вакуум-фильтра, величина разрежения в зоне набора осадка, величина разрежения в зоне сушки осадка, плотность пульпы, крупность концентрата, уровень пульпы в ванне фильтра.

В ходе анализа существующей системы управления дисковыми вакуум-фильтрами были выявлены несколько недостатков. Первый — лабораторный анализ влажности осадка, который проводится с малой периодичностью и большим запаздыванием. Данный фактор не позволяет производить оптимальное управление процессом в режиме реального времени. Это приводит к снижению производительности и качества осадка [5]. Измерение толщины осадка на дисках не производится. Регулирование влажности осадка производится вручную изменением частоты вращения дисков [6]. Также регулирование влажности производится изменением плотности пульпы питания и давления разрежения в зоне набора осадка. Последние два способа регулирования используются нечасто.

Предлагается разработать систему управления процессом обезвоживания, устраняющая вышеперечисленные недостатки существующей системы управления. На основе [7] было установлено, что разрабатываемая система управления должна содержать в себе: контур регулирования влажности осадка, контур регулирования производительности фильтра, контур регулирования разрежения в зоне набора осадка, контуры регулирования плотности и уровня пульпы в ванне фильтра. Данная система управления позволит интенсифицировать процесс обезвоживания, улучшить качество выходного продукта процесса и снизить удельные энергозатраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Промышленная автоматизация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://industriation.ru/vakuumnye-filtry-vidy-i-principy-raboty/> (дата обращения: 08.11.2024).
2. Nomitech [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nomitech.ru/articles-and-blog/ustroystvo_i_printsip_raboty_vakuum_filtrov.html (дата обращения: 08.11.2024).

3. Вакуум-фильтрование и пресс-фильтрование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studref.com/638567/geografiya/vakuum_filtrovanie_press_filtrovanie?ysclid=m3lbrfw4vk921430556 (дата обращения: 08.11.2024).
4. Бакор [Электронный ресурс]. - <https://ntcbakor.ru/catalog/filtratsiya-i-obogashchenie/keramicheskij-diskovyy-filtr-kdf--vakuum-filtr-kdf/> (дата обращения: 08.11.2024).
5. Еременко Ю.И. О повышении эффективности работы дискового вакуум-фильтра / Ю.И. Еременко, С.Ю. Халапян, А.О. Анпилов // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. – 2015. – С. 167-171.
6. Анпилов А.О. Модернизация системы управления вакуум-фильтра обогатительной фабрики / А.О. Анпилов, Ю.И. Ерёменко // Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития. – 2015. – Т.2. – С. 18-19.
7. Гольберт, Ю.С. Обезвоживание концентратов черных металлов / Ю.С. Гольберт, А.А. Гонтаренко. – М. : Недра, 1986. – 182 с.

ЭЛЕКТРОННОЕ МЕНЮ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОНЛАЙН-ЗАКАЗА, ДОСТУПНОЕ ПО QR-КОДУ

Антипенко И.О., Лазарева Т.И.

*Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
aio_oskol@mail.ru, taty laz@mail.ru*

***Аннотация.** В статье проведен анализ работы ресторана «АВАНТАЖ», рассмотрены существующие бизнес-процессы и выявлены возможные недостатки в области обслуживания клиентов. Для повышения качества обслуживания клиентов и экономии временных и материальных ресурсов предлагается начать использование электронного меню с возможностью онлайн-заказа, доступное по QR-коду, которое будет включать в себя актуальную информацию о блюдах и напитках ресторана.*

Ключевые слова: заведения общественного питания; электронное меню; обслуживание клиентов; экономия ресурсов.

ELECTRONIC MENU WITH THE POSSIBILITY OF ONLINE ORDERING, ACCESSIBLE BY QR CODE

Antipenko I. O., Lazareva T. I.

*Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)
aio_oskol@mail.ru, taty laz@mail.ru*

***Abstract.** The article analyzes the work of the restaurant "AVANTAGE", considers the existing business processes and identifies possible shortcomings in the field of customer service. To improve the quality of customer service and save time and material resources, it is proposed to start using an electronic menu with the possibility of online ordering, available by QR code, which will include up-to-date information about the restaurant's dishes and drinks.*

Keywords: catering establishments; electronic menu; customer service; saving resources.

Заведения общественного питания играют важную роль в современном обществе. ООО «АВАНТАЖ ПЛЮС» включает в себя ресторан «АВАНТАЖ» и бар «на Бульваре» [1].

Обслуживание клиентов является одним из основных процессов в этих заведениях. Несмотря на то, что этот процесс может приносить большую выгоду и увеличивать количество посетителей, существуют и некоторые минусы, которые следует учитывать:

1. Задержки в обслуживании. Они могут быть вызваны большим количеством посетителей, отсутствием опыта у персонала или нехваткой ресурсов, например посуды или продуктов. В связи с длительным ожиданием у клиента может возникнуть недовольство, что скажется на общем впечатлении от заведения;

2. Низкое качество обслуживания, которое может быть вызвано неопытностью или нежеланием персонала удовлетворять потребности клиентов;

3. Отсутствие гибкости обслуживания. Клиенты могут иметь индивидуальные запросы, связанные с приготовлением блюд, способом оплаты или временем работы. Если заведение общественного питания не готово удовлетворить эти потребности, клиент часто ищет другие места, где его запросы будут удовлетворены.

Следовательно, забота о качестве обслуживания должна стать одним из приоритетных направлений для совершенствования и автоматизации. В качестве решения проблемы обслуживания клиентов заведения общественного питания используют разные методы:

- Обратная связь и опросы клиентов;
- Ведение социальных сетей и онлайн-платформ;
- Создание программ лояльности и т.д.

Рассмотрим поэтапно процесс обслуживания клиента в ресторане без применения методов автоматизации. Клиент приходит в ресторан. Его встречает официант и провожает до свободного столика. Клиенту предлагается меню, после чего он выбирает понравившиеся позиции и озвучивает свой заказ. В зависимости от наличия на складе продуктов блюдо может находиться в стоп-листе. На основе этого официант либо принимает заказ, либо просит клиента выбрать что-то другое. Клиент в свою очередь может выбрать другое блюдо или покинуть ресторан. После того как заказ принят, официант передает его на кухню, где его готовит повар в соответствии с технологическими картами блюд. Готовое блюдо подается клиенту. По просьбе клиента официант рассчитывает его, после чего клиент оплачивает выставленный счёт.

Подробно рассмотреть весь процесс можно с помощью BPMN модели [2], представленной на рисунке 1. Видно, что каждый этап занимает определенное количество времени. Процесс приготовления блюда и прием пищи клиентом – независимые переменные, на них мы никак не можем повлиять. Но стоит обратить внимание на человеческий фактор, например занятость официанта, частое взаимодействие официанта с клиентом. Все это

занимает определенное время. Поэтапно оно кажется незначительным, но в сумме может получиться 10 – 20 минут.

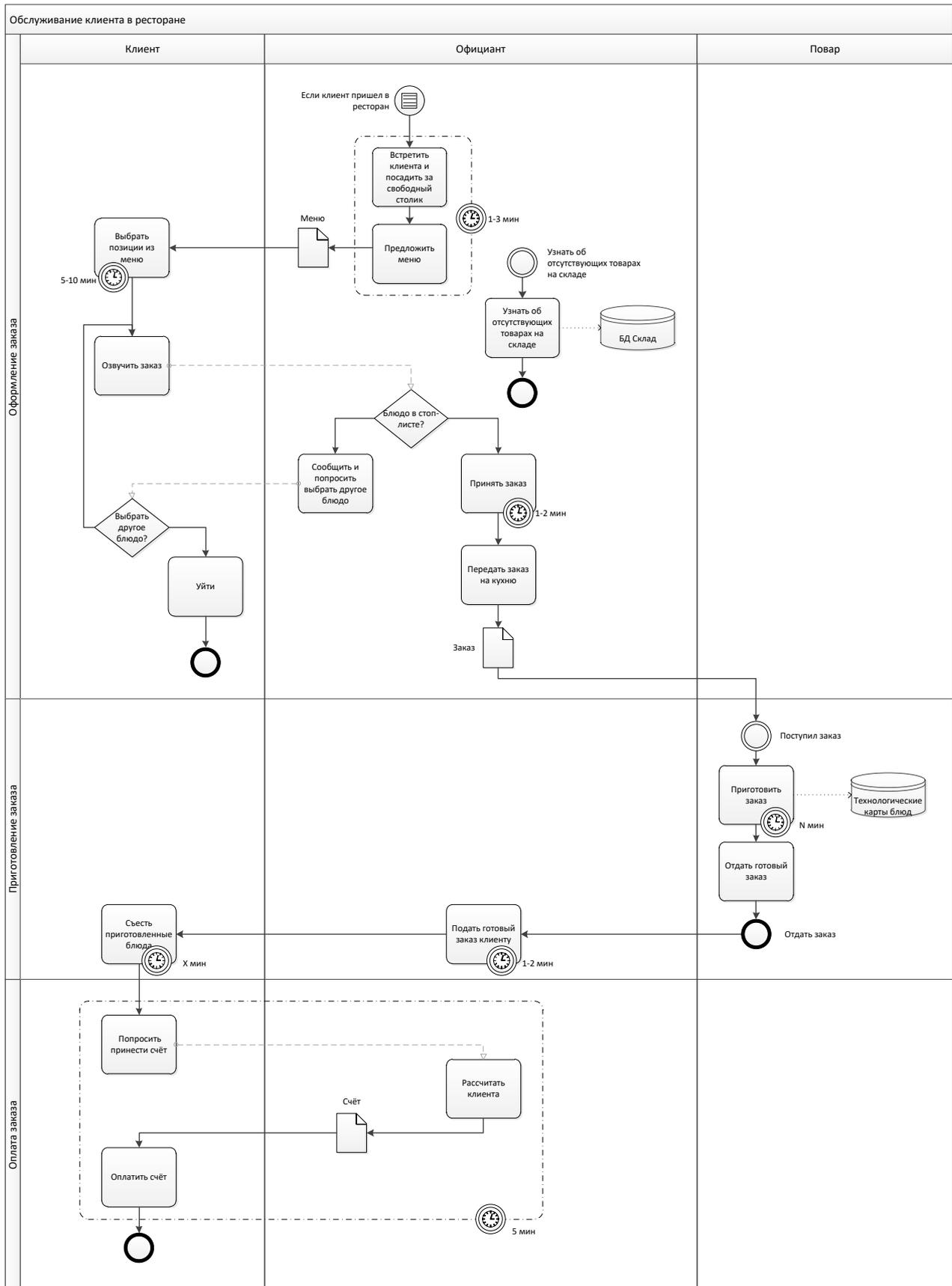


Рис. 1 – BPMN модель бизнес-процесса

Эффективным способом модернизации рассматриваемого бизнес-процесса будет использование электронного меню. Такая система способна не только сэкономить время и автоматизировать процесс обслуживания клиентов, но и сократить расходы на печать физических экземпляров.

Электронное меню может быть интерпретировано по-разному, предоставляя уникальные преимущества для клиентов и владельцев ресторанов. Рассмотрим некоторые из интерпретаций:

- Мобильное приложение. Клиенты могут установить приложение ресторана на своих мобильных устройствах. Это позволяет им просматривать меню, делать заказы, а также получать специальные предложения и уведомления о новинках или акциях. Одним из минусов данного решения является необходимость в обновлениях. Для исправления ошибок и добавления новых функций приложения обычно требуют регулярных обновлений, что может быть проблемой для разработчика и вызывать неудобства для посетителей. В дополнение стоит отметить, что приложение занимает часть памяти мобильного устройства. Не все пользователи захотят занимать свободное пространство памяти своего гаджета приложением ресторана или кафе.

- Веб-сайт. Электронное меню, представленное на сайте ресторана, позволяет пользователям легко ознакомиться с предлагаемыми блюдами и ценами. К недостаткам можно отнести зависимость от интернет-соединения и непостоянный доступ в случае, когда сайт временно недоступен из-за технических проблем или обслуживания.

- QR-коды. Клиенты могут сканировать QR-коды, размещенные на столах или вывесках, чтобы получить доступ к электронному меню на своих мобильных устройствах. Но, к сожалению, использование QR-кодов может открывать возможности для мошенничества, так как злоумышленники могут создать фальшивые QR-коды.

- Специальные устройства. Некоторые рестораны используют специальные гаджеты, размещенные на столах, которые могут показывать меню, информация о блюдах и напитках, а также позволяющие заказывать прямо со стола. Эти устройства могут также включать опции для общения с официантом или службой поддержки. Можно выделить ряд недостатков применения данного метода. Первый из них – потребность в обслуживании устройств, поскольку они требуют постоянного ухода для избежания поломок и поддержания их функциональности. Второе – гаджеты могут занимать ценное пространство на столе, что может создать неудобства. Третье – технические сбои. Особенностью также являются дополнительные затраты на закупку и обслуживание оборудования.

Оптимальным решением из рассмотренных ранее является электронное меню с доступом по QR-коду и возможностью онлайн-заказа. Такая система будет представлять

собой веб-ресурс, расположенный на сервере ресторана. Это обеспечит полный контроль над конфиденциальностью и безопасностью данных, поскольку вся информация будет храниться локально. Также это позволит упростить интеграцию с другими внутренними системами, такими как учетные или заказные.

Разрабатываемая система должна обеспечивать возможность выполнения следующих функций:

1. Добавление, удаление, изменение количества блюд в заказе;
2. Содержать полную информацию о каждом блюде:
 - Ингредиенты;
 - Вес;
 - Калорийность;
 - Соотношение БЖУ.
3. Автоматический подсчёт суммы заказа;
4. Оформление заказа;
5. Выбор оплаты удобным способом:
 - Наличный расчёт – подойдет официант;
 - Безналичный расчёт – оплата онлайн.

Данный набор можно считать минимальным для хорошей системы, далее функционал можно расширить в зависимости от потребностей заказчика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Информация об ООО «АВАНТАЖ ПЛЮС» [Электронный ресурс] //URL: <https://checko.ru/company/avantazh-plyus-1023102365384>
2. Элементы нотации BPMN [Электронный ресурс] //URL: https://elma365.com/ru/bpmn2/7_2/

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДОКУМЕНТООБОРОТА ДОУ

Бесхмельницына Ю.В., Лазарева Т.И.

Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

L.Delena.A@yandex.ru, tatylaz@mail.ru

Аннотация. В статье проанализирована работа дошкольного образовательного учреждения, рассмотрен текущий уровень автоматизации и выявлены недостатки документооборота ДОУ. Предлагается разработать автоматизированную информационную систему, способную вывести работу учреждения на новый качественный уровень.

Ключевые слова: дошкольное образовательное учреждение; автоматизированная информационная система; уровень автоматизации; документооборот.

AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR DOCUMENT MANAGEMENT OF PRESCHOOL INSTITUTIONS

Beshmelnitsyna Y.V., Lazareva T.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

L.Delena.A@yandex.ru, tatylaz@mail.ru

Abstract. The article analyzes the work of a preschool educational institution, considers the current level of automation and identifies the shortcomings of the preschool educational institution's document flow. It is proposed to develop an automated information system capable of bringing the institution's work to a new qualitative level.

Keywords: preschool educational institution; automated information system; automation level; document flow.

В данной работе объектом исследования было выбрано муниципальное бюджетное дошкольное образовательное учреждение детский сад №27 «Берёзка» Старооскольского

городского округа Белгородской области, являющееся унитарной некоммерческой организацией.

Согласно уставу учреждения основной целью функционирования ДООУ является осуществление образовательной деятельности по образовательным программам дошкольного образования в возрасте от 1,5 лет до прекращения образовательных отношений, осуществления присмотра и ухода за детьми [1].

Организационная структура учреждения представлена на рисунке 1.

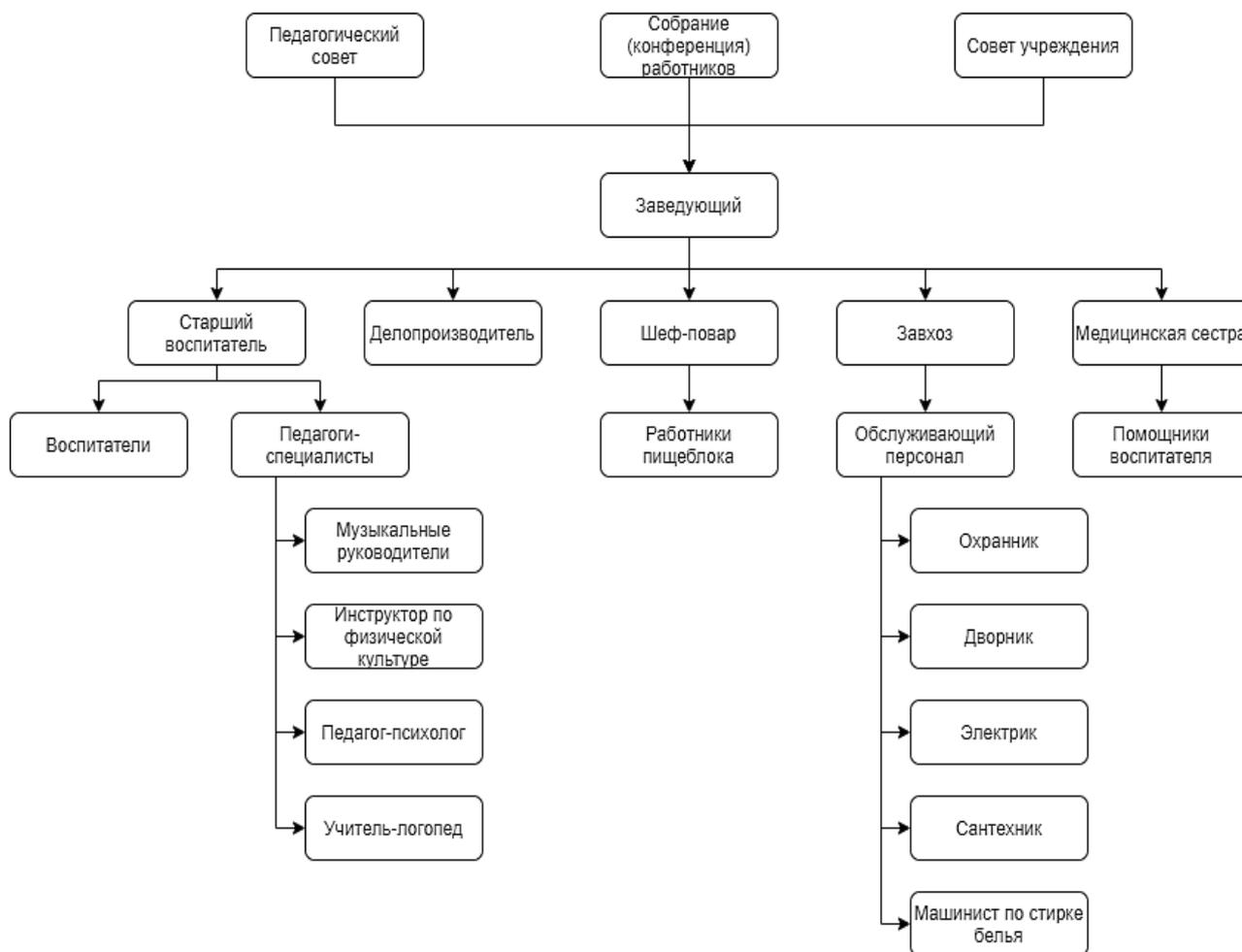


Рис. 1 – Структура учреждения МБДОУ ДС №27 «Березка»

Эффективность работы любого сотрудника, успешное выполнение возложенных на него функций зависит от уровня автоматизации. Проведем анализ текущего уровня автоматизации ДООУ. Дошкольное учреждение оснащено: компьютер – 5 шт., ноутбук – 2 шт., мультимедийная установка – 2 шт., МФУ (многофункциональное устройство) – 7 шт. (рис. 2).

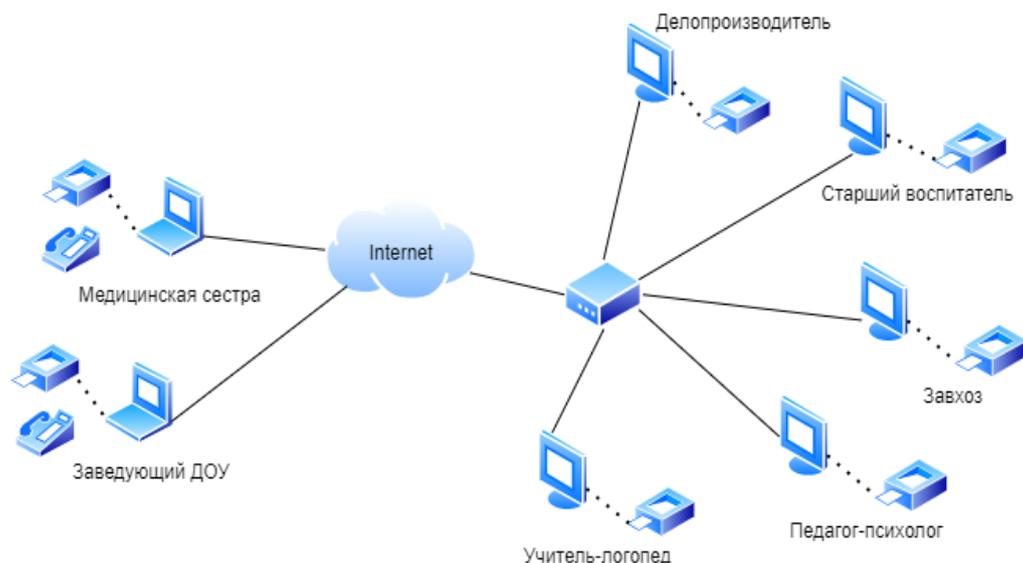


Рис. 2 – Сетевая структура в МБДОУ ДС №27 «Берёзка»

Работа дошкольного образовательного учреждения представляет собой сложный процесс, который требует учёта и оформления документации. В настоящее время большое количество данных о воспитанниках, отчётов, аналитических справок хранятся на бумажных носителях. Делопроизводителю, приходится вносить и изменять новые данные вручную, что занимает много времени и негативно сказывается на работе всего учреждения.

На рисунке 3 изображена контекстная диаграмма электронного документооборота ДОУ с использованием графических SADT-описаний в качестве схем [2].



Рис. 3 – «Диаграмма документооборота ДОУ»

Согласно данной диаграмме (рисунок 3) видно, что входными данными являются: входящая документация, информация о воспитанниках и родителях (законных представителях). Выходными данными являются исходящая информация, приказы, отчеты. Стрелки управления: внутренние нормативные документы, законодательные документы, распоряжение департамента образования (ДО) о приеме. Стрелки механизма: заведующий, делопроизводитель, сотрудники ДОУ.

На рисунках 4-5 представлены диаграммы потоков работ, на которых отображена деятельность ДОУ.

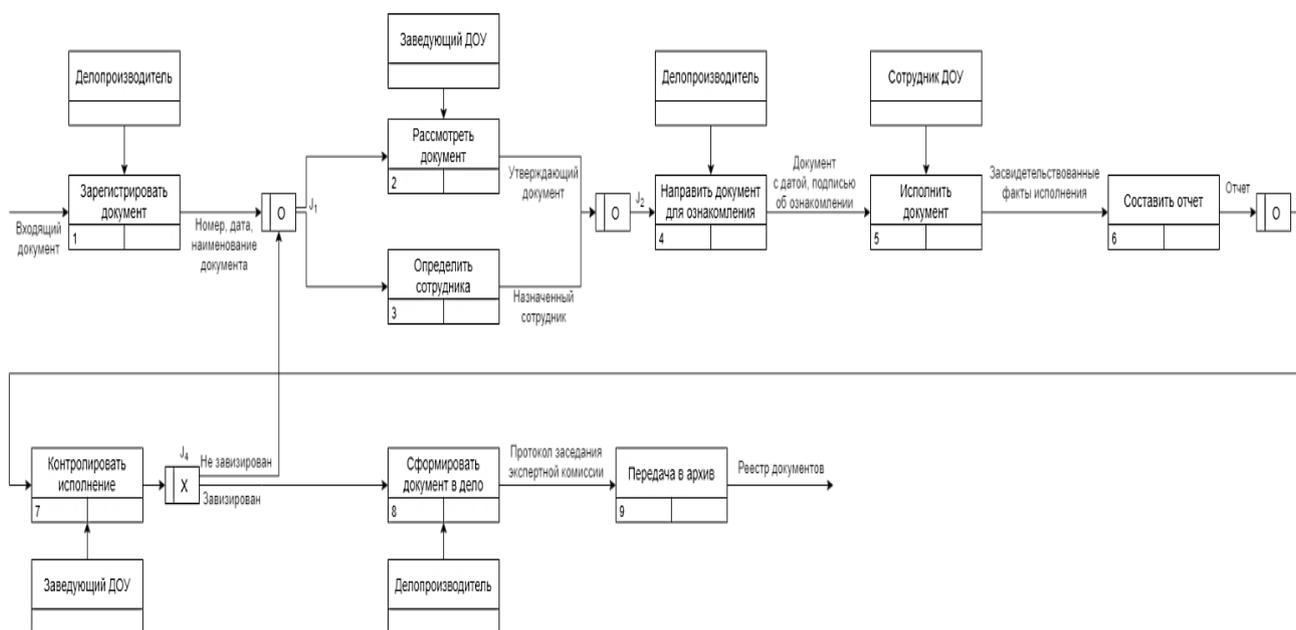


Рис. 4 – Диаграмма потоков работ «Документооборот ДОУ»

Проектируемая информационная система для МБДОУ ДС №27 «Берёзка» должна обеспечивать возможность выполнения следующих функций:

1. Учет входящих, исходящих и внутренних документов.
2. Регистрация и учет воспитанников: возможность добавления, удаления, редактирования информации о каждом воспитаннике, включая персональные данные, родительскую информацию и т. д.
3. Группировка и классификация воспитанников: возможность формирования групп в зависимости от возраста или других характеристик, а также распределения воспитанников по группам.

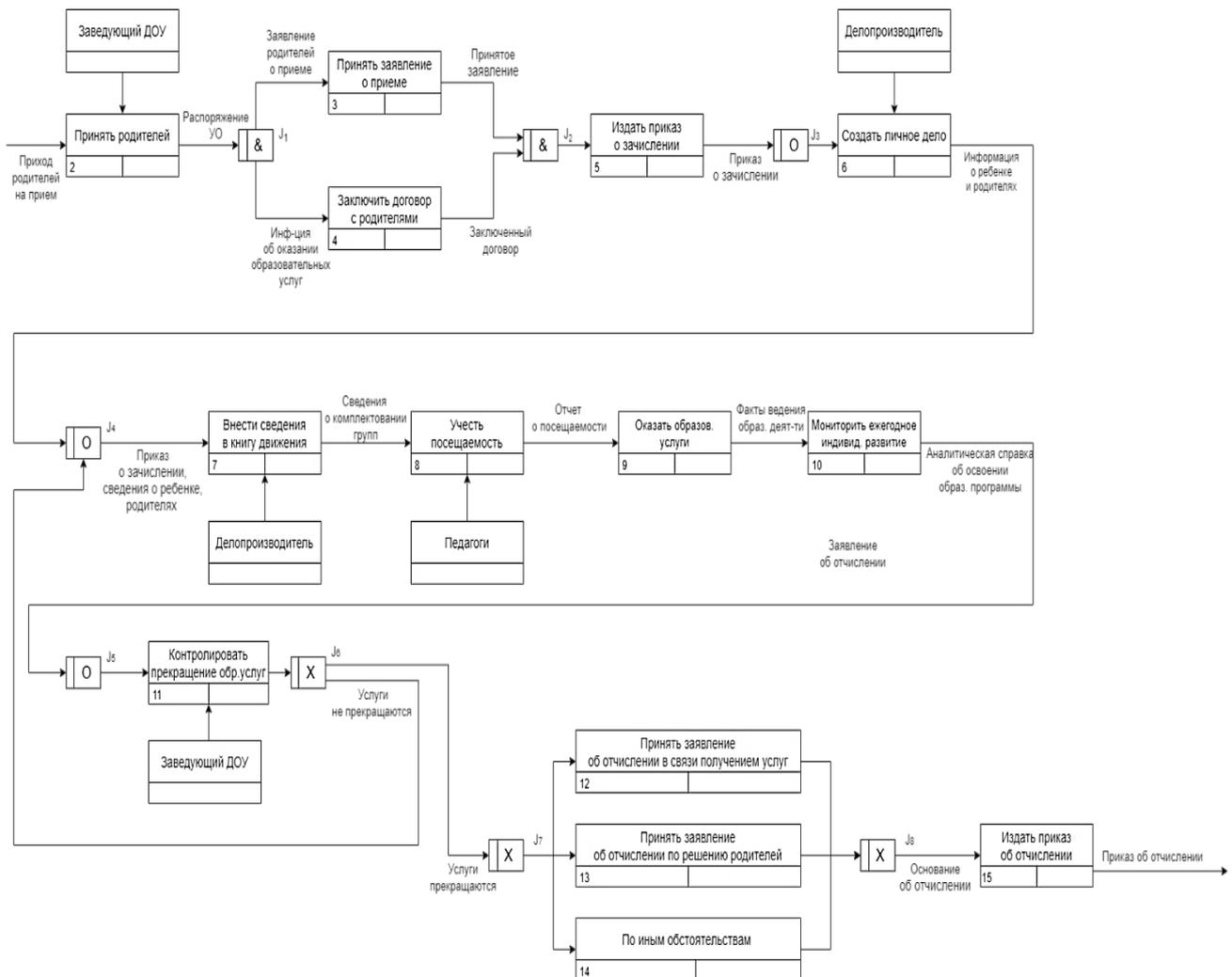


Рис. 5 – Диаграмма потоков работ «Учёт информации о воспитанниках»

4. Учет посещаемости и отчетность: автоматический учет посещаемости воспитанников, формирование отчетов по посещаемости для ДО.

5. Социальный паспорт семьи: сведения о полноте (полная, неполная), благополучии, условиях проживания, уровень и группа здоровья ребенка, уровень образования и социальный статус родителей, и другие сведения.

6. Безопасность данных: обеспечение защиты персональных данных в соответствии с законодательством РФ о защите данных и конфиденциальности.

На рынке программных средств существуют готовые программные решения, которые могут обеспечить упрощение работы делопроизводителя при решении задач, связанных с документооборотом. В качестве аналогов программного средства выбраны программные продукты: конфигурация 1С – «1С:Дошкольное учреждение» и ИАС «Аверс: Заведующий ДОУ». В таблице 1 представлен сравнительный анализ существующих программных продуктов [3, 4].

Таблица 1 – Сравнительный анализ аналогов

Критерий оценки	«1С: Дошкольное учреждение»	«Аверс: Заведующий ДОУ»
Принадлежность к российскому программному обеспечению	Включен в Единый реестр российских программ для ЭВМ и БД. Реестровая запись №657 от 29.04.2016	Включен в Единый реестр российских программ для ЭВМ и БД. Реестровая запись №451 от 18.04.2016
Стоимость	От 18 000руб.	От 20 060руб.
Учет входящих, исходящих и внутренних документов	Регистрация всех документов организации (внутренние, входящие, исходящие). Создание проектов всех внутренних документов организации	—
Регистрация и учет воспитанников	Занесение сведений о воспитанниках и их родителях. Формирование договоров между дошкольным учреждением и родителями	Ведение личных дел воспитанников, формирование и поддержание электронного портфолио воспитанника ДОУ
Группировка и классификация воспитанников	Учет наполняемости групп	Формирование книги учета движения воспитанников дошкольного образовательного учреждения
Учет посещаемости и отчетность	Учет посещаемости детьми ДОУ	Учет посещаемости детей с указанием причины отсутствия ребенка в дошкольном учреждении
Социальный паспорт семьи	—	—
Безопасность данных	Обеспечена	Обеспечена

На основании проведенного сравнительного анализа программных продуктов, представленных на рынке, было принято решение о разработке автоматизированной информационной системы документооборота ДОУ, которая будет содержать только те функции, которые необходимы для регистрации всех документов организации (внутренних, входящих, исходящих), а также для быстрого нахождения информации, в данном случае о воспитанниках и их родителях, это упростит работу делопроизводителя и заведующей ДОУ, сделает её более эффективной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Устав МБДОУ ДС №27 «Березка» (новая редакция), утвержденный постановлением администрации Старооскольского городского округа Белгородской области от 13.01.2021 г. №24 [Электронный ресурс]. //URL: <https://ds27-staryj-oskol-r31.gosweb.gosuslugi.ru/svedeniya-ob-obrazovatelnoy-organizatsii/dokumenty>
2. Зараменских Е. П. Управление жизненным циклом информационных систем: учебник и практикум для вузов / Е. П. Зараменских. — 2-е изд. — Москва: Издательство

Юрайт, 2024. — 497 с. — (Высшее образование). — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. //URL:<https://urait.ru/bcode/536966>

3. Программы 1С:Предприятие: «1С:Дошкольное учреждение». Описание программы [Электронный ресурс].//URL: <https://itcons99.ru/catalog/otroslevie/obrazovatelnye-uchrezhdenija/doshkolnoe-uchrezhdenie/1s-du-opisanie-programmyi/>

4. Информационно-аналитическая система «Управление дошкольным образовательным учреждением» («Аверс: Заведующий ДОУ») [Электронный ресурс]. //URL: https://www.iicavers.ru/kscms/uploads/prod_file/rukovodstvo_dou_1.5.pdf

ПОДХОДЫ К РЕАЛИЗАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ И СИСТЕМАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Булгаков К.А., Станкевич В.Е.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

kirill.b.bulgakov@gmail.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются ключевые методы реализации компьютерного зрения, алгоритмы *SIFT* и *SURF*, а также использование библиотеки *OpenCV* и пакет прикладных программ *MATLAB*. Компьютерное зрение находит применение в управлении роботизированными манипуляторами, включая автоматизацию сбора урожая и распознавание жестов для управления роботизированными руками.

Ключевые слова: Компьютерное зрение; искусственные нейронные сети; роботизированная рука; роботизированный манипулятор; распознавание изображений.

APPROACHES TO THE IMPLEMENTATION OF MODERN CONTROL SYSTEMS FOR ROBOTIC COMPLEXES AND SYSTEMS USING COMPUTER VISION

Bulgakov K.A., Stankevich V.E.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. This article discusses key methods, including contour analysis, *SIFT* and *SURF* algorithms, as well as the use of the *OpenCV* library and the *MATLAB* application package. Computer vision finds applications in the control of robotic manipulators, including automation of harvesting and gesture recognition for controlling robotic arms.

Keywords: Computer vision; artificial neural networks; robotic manipulator; image recognition.

В последние годы технологии машинного обучения и искусственного интеллекта развиваются с невероятной скоростью. Одной из наиболее перспективных областей в этой сфере является компьютерное зрение, которое позволяет компьютерам «видеть» и

интерпретировать окружающий мир. Спрос на системы компьютерного зрения растёт во всем мире [1].

Статья [2] описывает метод реализации компьютерного зрения, который используют контуры объектов для их идентификации. Также рассматривается сопоставление по шаблону, которое включает сканирование изображения и сравнение с шаблоном, а также выделение и сравнение ключевых точек с использованием алгоритмов SIFT и SURF. Кроме того, рассматриваются оптические системы, включая одномерные, двумерные и трехмерные системы, такие как стереозрение и панорамные системы. В статье упоминаются программные платформы, такие как OpenCV, которая является популярной библиотекой для анализа изображений и доступна для различных языков программирования, а также PCL, ROS, MATLAB и CUDA, которые предлагают уникальные возможности для обработки изображений и для работы с робототехническими системами.

В статье [3] основной акцент делается на использовании алгоритмов обработки изображений для определения положения объектов в пространстве. Система компьютерного зрения включает в себя камеры, которые фиксируют изображения окружающей среды, и программное обеспечение, анализирующее эти изображения для извлечения полезной информации. В статье используются такие библиотеки, как OpenCV для обработки изображений и NumPy для работы с массивами данных. Алгоритмы обработки изображений позволяют выделять контуры объектов, определять их координаты и отслеживать движения (Рисунок 1).

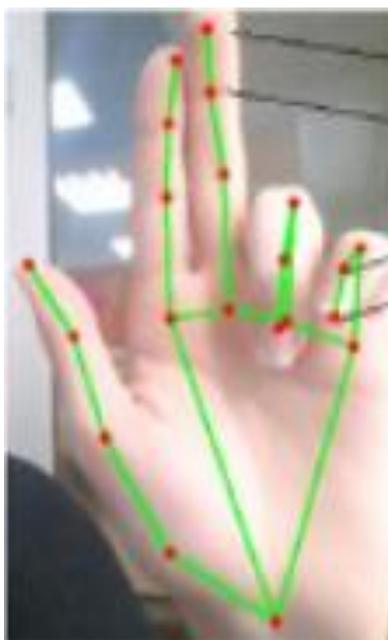


Рис. 1 – Пример работы алгоритма

В статье [4] рассматривается применение компьютерного зрения для автоматизации процесса сбора урожая. Основной акцент сделан на разработке методов, которые позволяют определять положение плодов на растениях (Рисунок 2) без использования маркеров или точной высадки рассады. Разработанный программный модуль позиционирования манипулятора принимает на вход координаты центра плода с учетом ошибок и решает задачи кинематики для подведения захвата к плоду. Использование библиотек с открытым кодом, таких как OpenCV, позволяет эффективно обрабатывать изображения и распознавать объекты. MATLAB применяется для разработки алгоритмов обработки изображений и анализа данных, что включает моделирование и визуализацию результатов, а также обработку видео- и фотоданных.



Рис. 2 – Определение центра плода

В статье [3] манипулятор представляет собой роботизированную руку (Рисунок 3), которая способна выполнять сложные манипуляции с высокой точностью. Для управления этой рукой используется система распознавания жестов, которая позволяет взаимодействовать с устройством интуитивно. Проект включает в себя создание корпуса роботизированной руки, использование технологии 3D-печати и сервоприводов, управляемых контроллером Arduino Nano.

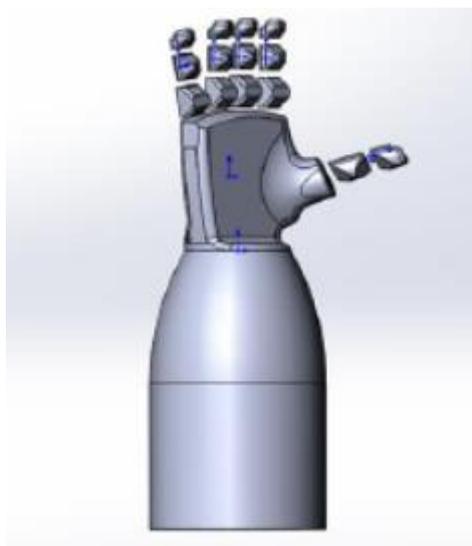


Рис. 3 – Модель роботизированной руки

Метод управления основан на распознавании жестов с помощью алгоритмов компьютерного зрения. Камера, подключенная к компьютеру, отслеживает движения рук пользователя и передает данные на компьютер. Затем компьютер обрабатывает полученные изображения и отправляет соответствующие команды на Arduino Nano. Микроконтроллер управляет пятью сервомоторами, которые отвечают за движение пальцев роботизированной руки, позволяя воспроизводить жесты пользователя (Рисунок 4).

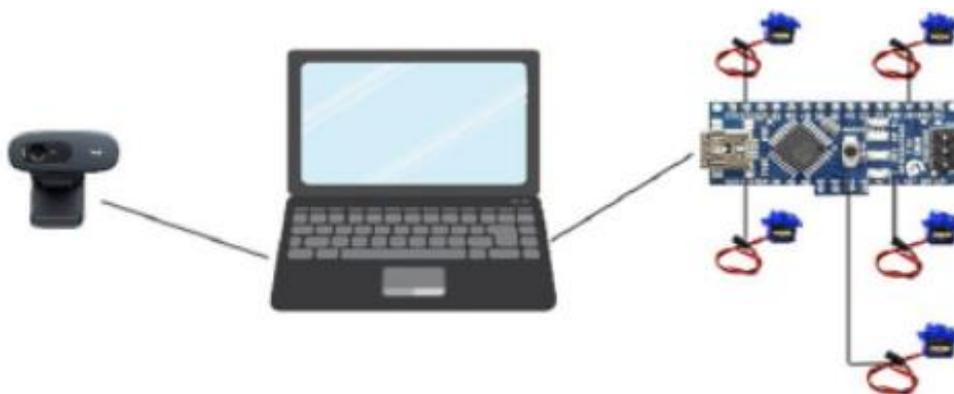


Рис. 4 – Схема проекта

В статье [4] используется манипулятор KUKA KR3(рисунок 5), который представляет собой промышленный робот-манипулятор, предназначенный для автоматизации процессов сбора томатов в сельском хозяйстве. Он использует специализированный захват для аккуратного сбора томатов, минимизируя повреждения плодов. Система компьютерного зрения анализирует изображения для определения координат и состояния плодов и передает информацию в систему управления манипулятора для точного позиционирования. Для

обеспечения корректного движения захвата к плодам решаются прямая и обратная задачи кинематики.



Рис. 5 – Внешний вид манипулятора KUKA

В статье [5] используется стационарный четырехосный робот-манипулятор (Рисунок 6). Этот тип манипулятора состоит из четырех сервоприводов, что позволяет ему выполнять движения в различных плоскостях и захватывать объекты, расположенные произвольно перед ним. Управление манипулятором осуществляется с помощью одноплатного компьютера Raspberry Pi 4, который взаимодействует с контроллером манипулятора.

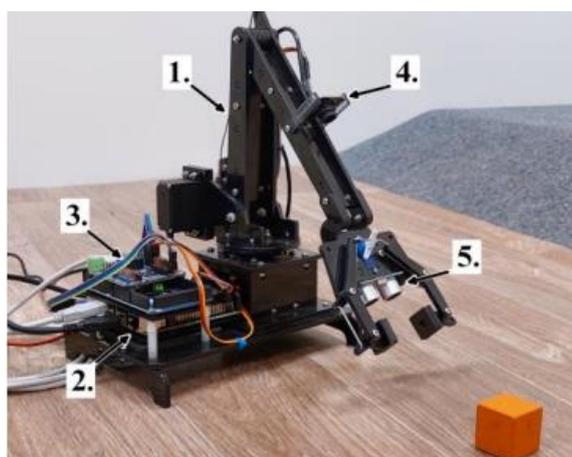


Рис. 6 – Общий вид манипулятора

На основе анализа статей можно сделать вывод что для реализации машинного зрения чаще всего используют библиотеку OpenCV, которая позволяет выделять контуры объектов.

В качестве объектов управления обычно используются роботизированные руки, которые могут выполнять сложные манипуляции, а также четырехосные манипуляторы. Ключевые проблемы реализации машинного зрения включают: освещение, так как условия освещения влияют на качество обработки изображений, создавая сложности с тенями и отражениями; алгоритмические сложности, поскольку оптимизация алгоритмов требует значительных вычислительных ресурсов и больших объемов данных для обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров В. С. Технологии компьютерного зрения на российском и мировом рынках и их перспективы //Вестник Таганрогского института управления и экономики. – 2022. – №. 1 (35). – С. 114–115.
2. Горячкин Б. С., Китов М. А. Компьютерное зрение //E-scio. – 2020. – №. 9 (48). – С. 317–345.
3. Колегаев Б. Я. Управление роботизированной рукой на основе компьютерного зрения //Молодой исследователь Дона. – 2024. – Т. 9. – №. 2. – С. 13–17.
4. Рыбаков А. В. и др. Проектирование робототехнических манипуляторов с системой компьютерного зрения для сбора томатов //Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2020. – №. 3 (51). – С. 135–147.
5. Катулин М. С. и др. Оптимизация процессов интеллектуального управления в реальном времени на физической модели робота-манипулятора с помощью генетического алгоритма //продукты и системы. – 2024. – Т. 37. – №. 3. – С. 301–309.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕКУРРЕНТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ ПОСЛЕ НАГРЕВА В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

Васильев Р.А., Жуков П.И.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Аннотация. В данной работе рассмотрено использование рекуррентных нейронных сетей в задаче прогнозирования температуры металлической заготовки после нагрева в пламенной многозонной печи. Было проведено шесть экспериментов с LSTM сетями различной структуры. В ходе экспериментов было установлено, что нейронная сеть с одним слоем LSTM, содержащим 93 нейрона, показывает наилучшие результаты по точности прогнозирования за небольшое время обучения. Ошибка сети составила 17.304 °C

Ключевые слова: нагрев заготовок; рекуррентные нейронные сети; LSTM; модель нагрева заготовок.

USE OF RECURRENT NEURAL NETWORK TO BUILD A MODEL FOR PREDICTING THE TEMPERATURE OF A METAL BILLET AFTER HEATING IN A METHOD FURNACE

Vasilyev R.A., Zhukov P.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. This paper considers the use of recurrent neural networks in the task of predicting the temperature of a metal billet after heating in a flame multizone furnace. Six experiments were conducted with LSTM networks of different structures. During the experiments, it was found that the neural network with a single LSTM layer containing 93 neurons shows the best results in terms of prediction accuracy in a small training time. The error of the network was 17.304°C

Keywords: workpiece heating; recurrent neural networks; LSTM; workpiece heating model

Введение

Прокат стали – важная часть металлургического производства, благодаря которому металлическая заготовка получает требуемую форму и свойства благодаря деформации при помощи давления.

На сегодняшний день выделяется горячий прокат – вид проката, при котором заготовка сначала нагревается в специализированной печи, а затем подвергается пластичной деформации. Благодаря предварительному нагреву заготовки удастся снизить её коэффициент деформации.

В качестве печей предварительного нагрева заготовок используют методические печи. Рабочее пространство такой печи поделено на три пары зон, вдоль которых перемещаются заготовки, при этом различные показатели, такие как температура в зоне, расход воздуха, газа и т.д., различаются для каждой зоны.

Для повышения энергоэффективности такой печи можно использовать надсистему оптимизации нагрева, важным элементом которой является математическая модель прогнозирования температуры заготовки. Такую модель возможно построить различными способами, одним из которых является применение универсальных аппроксиматоров, благодаря которым возможно восстановить зависимость между процессом нагрева и температурой уже нагретой заготовки.

В данной работе рассматривается построение модели прогнозирования температуры заготовки с использованием рекуррентной нейронной сети в качестве универсального аппроксиматора.

Построение нейронной сети

Нейронные сети представляют собой совокупность нейронов – простых математических функций. Такие нейроны объединяются в определенную структуру и представляются в виде слоев. Нейронные сети способны решать различные задачи, такие как регрессионные задачи, задачи классификации, кластеризации и т.д.

Одной из разновидностью нейронных сетей является рекуррентная сеть. Ключевой её особенностью — это наличие обратной связи, благодаря чему учитываются как текущие сигналы, так и сигналы, полученные ранее, что позволяет нейронной сети хорошо работать с числовыми последовательностями и текстами.

LSTM является модификацией рекуррентной нейронной сети, которая использует отдельную ячейку памяти и дополнительные механизмы, называемые воротами, контролирующими поток информации [2]. Для выполнения данной работы использовалась сеть LSTM.

Для обучения сети использовались данные с методической печи, установленной в

сортопрокатном цеху №1 АО «ОЭМК им А.А.Угарова». Структура набора данных представлена в таблице 1.

Всего в наборе данных 20226 записей, из которых 16180 составили обучающую подвыборку, остальные 4046 – тестовую подвыборку.

Для построения нейронной сети использовалась библиотека Keras [3] для языка программирования Python.

Таблица 1 – Набор данных для обучения нейронной сети.

Обозначение	Описание
T1R - T6R	Температура в правой части соответствующей зоны
T1L – T6L	Температура в левой части соответствующей зоны
F1Air – F6Air	Расход воздуха в соответствующей зоне
F1Gas – F6Gas	Расход газа в соответствующей зоне
tIN1.2 – tIN5.6	Время нахождения заготовки между двумя парами зон
Psum	Суммарное давление в печи
U	Процент открытия шиберы дымохода
Tsmoke	Температура отводимых газов
dPSmoke	Разряжение в печи
Tsteel	Температура заготовки при поступлении в прокатный стан

Было проведено шесть экспериментов, в каждом из которых увеличивалось количество нейронов в слоях или количество слоев. В качестве функции активации для слоев LSTM использовалась функция ReLU [4], а для выходного слоя - линейная. Для оценки качества обучения нейронной сети использовалась средняя абсолютная ошибка [5]. По результатам экспериментов составлена таблица 2.

Таблица 2 – Результаты экспериментов с LSTM сетями.

№ эксперимента	Модель	Средняя ошибка, °C	Время обучения, с
1	1 слой, 31 нейрон	17.785	111
2	1 слой, 62 нейрона	17.537	125
3	1 слой, 93 нейрона	17.304	158
4	1 слой, 124 нейрона	17.637	167
5	2 слоя, 93 нейрона	17.361	304
6	3 слоя, 93 нейрона	17.541	396

Наилучшие результаты показала нейронная сеть, состоящая из одного слоя, содержащего 93 нейрона. Структура такой сети представлена на рисунке 1.

Layer (type)	Output Shape	Param #
lstm_4 (LSTM)	(None, 93)	46,500
dense_4 (Dense)	(None, 1)	94

Total params: 46,594 (182.01 KB)
 Trainable params: 46,594 (182.01 KB)
 Non-trainable params: 0 (0.00 B)

Рис. 1 – Структура полносвязной нейронной сети.

На рисунке 2 представлены графики обучения нейронной сети и её работы на тестовой подвыборке.

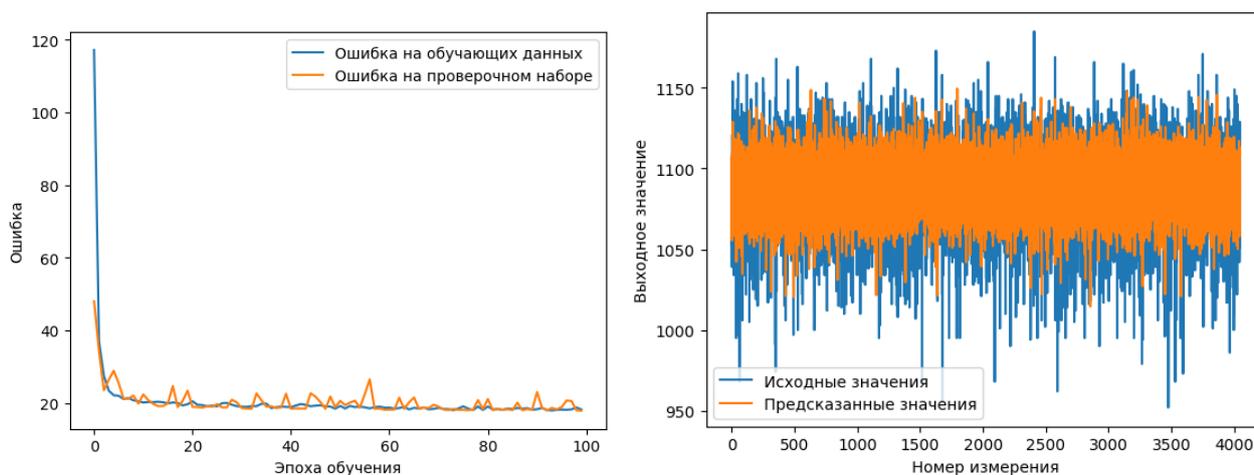


Рис. 2 – График обучения LSTM сети и график её работы на тестовой подвыборке.

Заключение

По результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что наиболее эффективной LSTM сетью для построения математической модели прогнозирования температуры металлической заготовки является сеть с одним слоем LSTM, содержащим 93 нейрона. Такая сеть показывает наилучшую точность прогнозирования за небольшое время обучения. Дальнейшее усложнение структуры сети не приводит к увеличению точности прогнозирования, но при этом приводит к сильному увеличению времени обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. / Ф. Шолле. — СПб.: Питер, 2018. — 400 с – Текст непосредственный;
2. LSTM и GRU [Электронный ресурс] – URL: <https://habr.com/ru/companies/mvideo/articles/780774/> (дата обращения: 09.11.2024);
3. Keras 3 API Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://keras.io/api/> (дата обращения: 09.11.2024);
4. Layer activation functions [Электронный ресурс]. – URL: <https://keras.io/api/layers/activations> (дата обращения: 09.11.2024);
5. Метрики классификации и регрессии [Электронный ресурс]. – URL: <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/metriki-klassifikacii-i-regressii> (дата обращения: 09.11.2024).

О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АЭП ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Гамбург К.С., Волобуев Д.С.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
ksgam@mail.ru, dmut2001@yandex.ru

Аннотация. В работе рассмотрены перспективы применения технологий искусственного интеллекта в системах управления автоматизированным электроприводом вентиляционной установки для снижения уровня его потребности в управлении человеком, повышения оперативной автономности при работе установки в условиях непостоянности технологического процесса.

Ключевые слова: автоматизированный электропривод; оперативная автономность; искусственный интеллект; нечеткая логика.

ON THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS FOR THE MODERNIZATION OF THE AUTOMATED ELECTRIC DRIVE OF CONTROL SYSTEM OF A VENTILATION INSTALLATION

Gamburg K.S., Volobuev D.S.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The paper considers the prospects of using artificial intelligence technologies in control systems of an automated electric drive of a ventilation installation to reduce the level of its need for human control, increase operational autonomy during operation of the installation in conditions of variability of the technological process.

Keywords: automated electric drive; operational autonomy; artificial intelligence; fuzzy logic.

Вентиляторы, рассматриваемые в этой работе, являются промышленными вентиляторами общего назначения, и рассчитаны на непрерывную работу. Вентиляторы разработаны для внедрения в производственную систему завода окатышей.

Двухвпускной вентилятор конструктивно выполнен из корпуса и встроенных приёмных камер. Корпус монтирован непосредственно на башмаке, установленном на бетонном основании. Достаточно жесткий корпус оборудован эксплуатационными дверцами и съемной секцией для установки/замены рабочего лопастного колеса и вала. На корпусе (включая ребра жёсткости) имеется шумоизоляционное покрытие.

Крыльчатка вентилятора оборудована наклонными лопастями, имеющими покрытие, с коническими боковыми пластинами и обрезной центральной пластиной. Рабочее колесо запрессовано и заклинено на валу. Рабочее колесо и вал изготовлены из марки стали, предусмотренной для такого типа устройств. Потери на входе в вентилятор сокращены до минимума благодаря специальным коническим насадкам, установленным на корпусе вентилятора через герметичное фланцевое соединение на предусмотренных крепежных местах.

Производительность вентилятора обеспечивается за счет скорости. Нормальная эксплуатация обеспечивается за счет поддержания скорости между минимальной и максимальной, согласно условиям договора.

Производительность вентилятора можно изменять с помощью положения лопастей заслонки. Заслонки приводятся в действие электрическим приводом AUMA.

Рабочее колесо и вал (ротор) опираются на фиксированный подшипник со стороны приводного конца и на свободный подшипник со стороны неприводного конца. Смазка подшипников обеспечивается за счет масла. Подшипники оборудованы температурным датчиком и датчиком вибрации. Подшипники установлены на суппортах, а приводной электродвигатель – на монтажной плите. Все опоры закреплены болтами на бетонном основании.

Резиновая муфта сцепления обеспечивает гибкое соединение (перемещение конца регулируется) ротора и электродвигателя.

Во избежание потерь воздуха на корпусе предусмотрено графитное уплотнение.

Краткое описание технологического процесса.

Впуск и циркуляция воздуха и газа, необходимые для технологического процесса, обеспечиваются за счет применения технологических вентиляторов. Технологический процесс обжига характеризуется извлечением максимального тепла из процесса охлаждения горячих окатышей и применением принципа непосредственной рекуперации, что означает

транспортировку извлеченного горячего воздуха из первой зоны охлаждения в зону предварительного нагрева и обжига.

Вентилятор охлажденного воздуха JL01 – GQ001 засасывает воздух через шумоглушитель и нагнетает этот воздух через воздуховод-коллектор в дутьевые камеры зон охлаждения I и II.

Охлаждающий воздух нагревается после прохождения через горячие окатыши и собирается в первом и втором охлаждающем кожухе. Эти кожухи устанавливаются непосредственно над слоем и уплотнены относительно движущейся колосниковой решетки. Потоки горячего воздуха возвращаются в технологический процесс в качестве «теплоносителя».

Горячий воздух, собранный во втором охлаждающем кожухе, извлекается сушильным вентилятором с восходящим потоком JL01 - GQ011 и направляется в дутьевые камеры зоны сушки восходящим потоком. Для достижения оптимизированной температуры для зоны сушки восходящим потоком холодный воздух (температура окружающей среды) или горячий воздух из системы рекуперации дутьевой камеры может быть добавлен в поток газа.

Давление в дутьевой камере в зоне сушки восходящим потоком автоматически управляется заслонкой JL01 - QN016, что приводит к избыточному воздуху в системе отработанных газов кожуха.

Вентилятор горячего охлаждения JL01-GQ071 производит забор горячего воздуха из газохода вентилятора JL01-GQ011 и холодного воздуха с атмосферы. Смешанный до оптимальных температур воздух (100-150°C), нагнетается в вакуум-камеры №22-23 под давлением близким к среднему давлению, создаваемому вентилятором JL01-GQ001 (40-60кПа).

Из кожуха сушки восходящим потоком нагретый воздух всасывается вентилятором отработанных газов кожуха JL01 - GQ061. После прохождения электростатического фильтра DD01-HR061, где пыль будет удалена из отходящего газа, отходящий газ выталкивается в объединенную трубу для отработанных газов JL01 - WP044.

Горячие газы сушки нисходящим потоком из зоны предварительного нагрева и обжига всасываются при нисходящей тяге через слой окатышей вентиляторами отработанных газов дутьевой камеры JL01 - GQ41 и JL01 - GQ051.

Дутьевые камеры с номерами от 4 до 7 подсоединены к вентилятору отработанных газов дутьевой камеры 1 JL01 - GQ041, а дутьевые камеры с номерами от 8 до 12 подсоединены к вентилятору отработанных газов дутьевой камеры 2 JL01 GQ051.

Перед вытяжкой каждым отдельным вентилятором газа отработанных газов технологические газы очищаются в двух отдельных электростатических фильтрах, DD01-

HR041 для отработанных газов дутьевой камеры 1 и DD01-HR051 для отработанных вытяжных газов дутьевой камеры 2.

После удаления пыли в электростатических фильтрах отходящий газ выталкивается в объединенную трубу для отработанных газов JL01 - WP044. Пыль, собираемая в DD01-HR041, DD01-HR051 и DD01-HR061, будет транспортироваться в бункер DD01-CM061. Пыль в бункере DD01-CM061 транспортируется через систему пневматической транспортировки в бункер HL01- CM001, расположенный в зоне смешивания, откуда пыль опять направляется в технологический поток.

Дутьевые камеры от 13 до 21 из последней секции зоны предварительно нагрева, обжига и после обжига обеспечивают сушильными газами зону сушки нисходящим потоком и служат для регулирования температурного профиля в первой части зоны предварительного нагрева.

Газы всасываются через слой окатышей вентиляторами рекуперации дутьевой камеры JL01 - GQ021, а затем направляются через газоходы в кожухи над зоной сушки нисходящим потоком и зоной предварительного нагрева.

Соответствующий температурный профиль в зоне предварительного нагрева имеет важное значение для производства окисленных окатышей высокого качества. Этот температурный профиль может регулироваться количеством воздуха рекуперации дутьевой камеры, подаваемом вентилятором JL01 - GQ021 в нижние углы над дутьевыми камерами от 7 до 10.

Все зоны в фабрике производства окатышей, где может подниматься пыль, покрываются кожухами или корпусами и подсоединяются к фабричной системе обеспыливания.

Станция подачи материала и станция разгрузки обжиговой системы обеспыливаются вместе с секцией грохочения с помощью центральной системы сухого обеспыливания. Данная система подобна системе технологического газа и состоит из вентилятора обеспыливания XD01-GQ001, электростатического фильтра XD01-HR001 и вытяжной трубы XD01-WP004.

Двигатель AMI560L8A

Данное оборудование предназначено для промышленного и индивидуального использования в качестве комплектного оборудования, как определено в Директиве по машинам и оборудованию (MD) 98/37/ЕС. Запуск машины в эксплуатацию запрещен до тех пор, пока не будет установлено соответствие конечного продукта приведенным инструкциям (следует придерживаться особых местных правил техники безопасности и монтажа, например, EN 60204).

На данные машины распространяются гармонизированные серии стандартов EN 60034 / DIN VDE 0530. Их применение во взрывоопасной атмосфере запрещено, если их конструкция не рассчитана специально на такое использование.

Привод ACS800-07

ACS800-07 – это смонтированный в шкафах привод, предназначенный для управления двигателями переменного тока.

Компоновка шкафов - привод включает в себя несколько шкафов, в которых располагаются выводы питания и двигателя, 1 - 4 модуля диодных блоков питания, 2 - 6 инверторных модулей и дополнительное оборудование. Фактическая компоновка шкафов зависит от типа привода и выбранных дополнительных устройств.

Система управления АЭП.

Для управления автоматизированным электроприводом промышленного вытяжного вентилятора используется привод ACS800-07 со скалярной системой управления.

Скалярное управление представляет собой метод изменения скорости асинхронного двигателя через регулирование частоты и амплитуды напряжения на его статоре (см. формулу 1).

$$\frac{U}{f} = const \quad (1)$$

Этот процесс позволяет синхронизировать частоту и напряжение как два основных параметра управления, обычно настраиваемых одновременно для достижения желаемой скорости вращения.

Такая система более проста в реализации и обладает достаточной эффективностью для многих приложений, где требуется простое регулирование скорости.

Недостатком скалярной системы управления является то, что используется модель управления, которая не учитывает изменение момента на валу электродвигателя в результате изменения рабочей нагрузки и скорости.

Ввиду несовершенности скалярной системы предлагается использовать нечеткую логику для управления автоматизированным электроприводом промышленного вентилятора.

Практическая реализация предложенной в работе концепции построения нечеткой логики управления АЭП, предназначенной для повышения его оперативной автономности, позволит существенно поднять производительность вентиляционной установки, снизив участие человека в технологическом процессе и уменьшив влияние человеческого фактора, следовательно, увеличив эффективность использования АЭП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Принцип работы промышленных вентиляторов [Электронный ресурс]: режим доступа: Официальный сайт <https://venteler.ru/printsip-raboty-promyshlennykh-ventilyatorov/> (дата обращения 12.10.2024).
2. Курбанов, С.А. Основы электропривода: Учебное пособие / С.А. Курбанов, Д.С. Магомедова. - СПб.: Лань П, 2019. - 192 с. - Текст: непосредственный.
3. Каменев, П.Н. Вентиляция. Учебное пособие. / И.П. Каменев, Е.М. Тертичник М.: Москва, 2003 г., 616 с. - Текст: непосредственный.
4. Электродвигатель АМІ 560L8А [Электронный ресурс]: режим доступа: – URL: <http://www.elektrostyle.ru/ama.htm> (дата обращения: 12.10.2024).
5. Частотный преобразователь ACS800-07-1500-7 [Электронный ресурс]: режим доступа: – URL: <https://new.abb.com/products/68305527/acs800-07-1500-7> (дата обращения: 12.10.2024).

АЭП ВЕНТИЛЯТОРА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АВТОТРАНСФОРМАТОРА

Гамбург К.С., Ковтун Н.И.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
kgsam@mail.ru, kovtun-n-i@yandex.ru

***Аннотация.** В статье рассматривается вопрос использования частотно-регулируемого привода системы охлаждения автотрансформатора.*

Ключевые слова: автотрансформатор; система охлаждения; автоматизированный электропривод; частотный преобразователь.

AUTOMATED ELECTRIC DRIVE OF THE FAN OF THE AUTOTRANSFORMER COOLING SYSTEM

Gamburg K.S., Kovtun N.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article discusses the use of a frequency-controlled drive of the autotransformer cooling system*

Keywords: autotransformer; cooling system; automated electric drive; frequency converter.

В работающем трансформаторе за счет потерь энергии происходит постоянный нагрев активной части. Предельный нагрев активной части трансформатора ограничивается температурными характеристиками твердой изоляции, срок службы которой напрямую зависит от температуры нагрева.

Теплота, выделяющаяся в обмотках, магнитопроводе и стальных деталях конструкции работающего трансформатора, рассеивается в окружающую среду. С целью уменьшения температуры активной части и отвода тепла, выделяющегося в процессе работы трансформатора, широко используются системы охлаждения различных конструкций. Чем больше мощность трансформатора, тем интенсивнее должна быть система охлаждения.

Применяемая система охлаждения является комбинированной типа МДДЦ, и предназначена для отвода тепла.

Элементы системы охлаждения навесного типа, т.е. все ее элементы, за исключением шкафа мониторинга АТ-5, навешаны на баке АТ.

В составе системы охлаждения применяются восемь осевых вентиляторов типа ВЗТ 1000.

Каждая охлаждающая группа имеет прямоточный насос с крыльчаткой пропеллерного типа. Насос подсоединяется к нижнему коллектору охлаждающей группы трансформатора.

Автоматическое управление комбинированной системой охлаждения вида М/Д/ДЦ обеспечивает:

- включение ступеней систем охлаждения в следующей последовательности: М → Д4 → Д8 → Д8 Ц2;
- переключение на пониженную ступень системы охлаждения;
- включение циркуляции масла на отключенном автотрансформаторе при температуре окружающего воздуха минус 30 градусов Цельсия;
- автоматическое включение резервного маслонасоса взамен одного рабочего для работы в течение последующих 24 часов, а также автоматический переход на рабочий маслонасос после 24 часов работы резервного, затем цикл повторяется с другим рабочим маслонасосом;
- автоматическое включение резервного маслонасоса взамен рабочего при аварийном отключении рабочего маслонасоса.

Общий вид системы охлаждения представлен на рисунке 1.

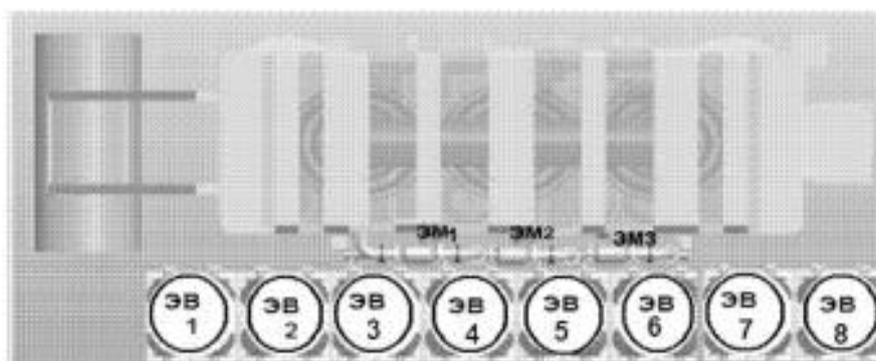


Рис. 1 – Общий вид системы охлаждения

Электропривод вентилятора характеризуется продолжительным режимом работы S1.

Система управления привода должна обеспечивать регулирование частоты вращения ротора двигателя вентилятора в соответствии с технологическим регламентом.

Недостатком существующего электропривода является устаревшая система управления: ступенчатое регулирование.

Для надежной работы асинхронного двигателя вентилятора типа 1LE1502-3AD43-4FA4 выбран преобразователь частоты INSTART серии MCI-G0.75-4B. Эта серия предназначена для управления скоростью трехфазных двигателей вентиляторов, насосов, дробилок, компрессоров.

В преобразователе реализованы функции управления скалярного типа, коммуникационные функции, а также функции диагностики и защиты.

Выбор сделан исходя из мощности, напряжения и номинального тока двигателя.

В связи с квадратичной нагрузкой был выбран закон регулирования

$$\frac{U}{f^2} = const \quad (1)$$

Модель асинхронного двигателя со скалярной системой управления, представлена на рисунке 2.

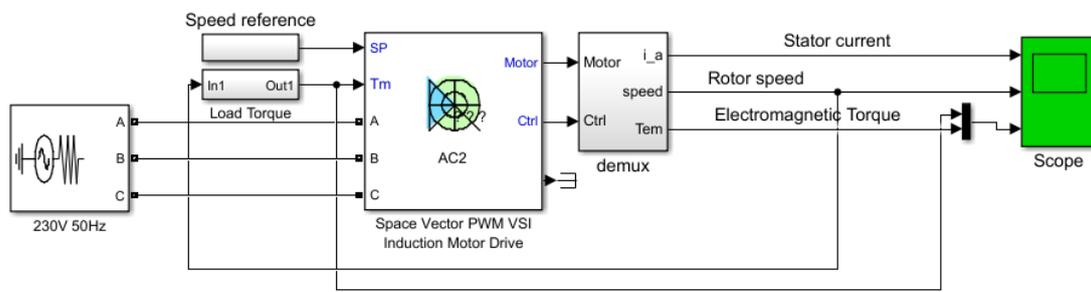


Рис. 2 – Модель электропривода со скалярной системой управлением в MATLAB/Simulink

В результате моделирования асинхронного привода со скалярным управлением, были получены графики, представленные на рисунке 3.

На данных графиках можно выделить три этапа:

- 1 этап: разгон двигателя до номинальной скорости – 738 об/мин;
- 2 этап: работа на номинальной скорости;
- 3 этап: торможение и остановка.

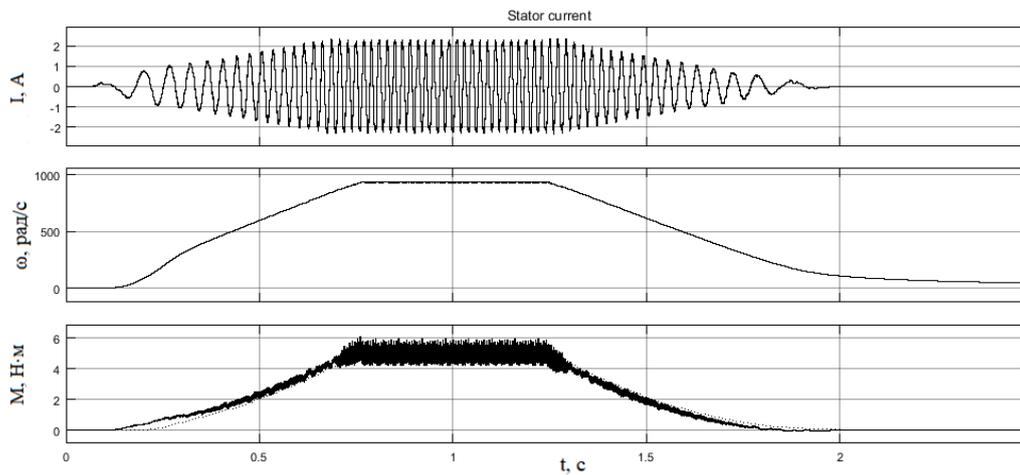


Рис. 3 – Графики результатов моделирования

Двигатель совершал работу в пределах заданной скорости без каких-либо скачков; ток статора в пределах всего диапазона оставался равномерным и плавным; по графику электромагнитного момента видно, что нагрузка была приложена к двигателю во всё время моделирования.

Результаты моделирования позволяют сделать вывод о том, что выбранная система полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системе управления электроприводом вентиляторной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов: учебник для вузов Серия: Высшее профессиональное образование: Электротехника/ О.И. Осипов.; под ред. В. М. Терехова. - 2-е изд., стер. - М.: Академия, 2006. - 304 с. - ISBN 978-5-7695-2911-3: 184-91 – Текст: непосредственный.
2. Системы охлаждения автотрансформаторов: [Электронный ресурс]: Режим доступа: [URL:stroystandart.info>index.php/img/uploads/pdf/](http://stroystandart.info/index.php/img/uploads/pdf/) (дата обращения 11.11.2024)

АЭП ОБЖИГОВОЙ МАШИНЫ

Гамбург К.С., Лазарева Т.И.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
kgsam@mail.ru, tatyfaz@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается вопрос использования частотно-регулируемого привода обжиговой машины конвейерного типа.

Ключевые слова: обжиговая машина; асинхронный двигатель; автоматизированный электропривод; частотный преобразователь.

AUTOMATED ELECTRIC DRIVE OF THE ROASTING MACHINE

Gamburg K.S., Lazareva T.I.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The article considers the issue of using a frequency-controlled drive of a conveyor-type roasting machine

Keywords: roasting machine; asynchronous motor; automated electric drive; frequency converter.

Процесс обжига сырых железорудных окатышей производится в обжиговых машинах конвейерного типа и по своей сути является многостадийным и сложным, так как необходимо обеспечение непрерывного автоматического контроля и управления качеством поступающих на обжиговую машину окатышей, непосредственный контроль химических и тепловых процессов, происходящих в слое окатышей, а также контроль безопасности производства. Обжиговая машина конвейерного типа представляет собой сложный агрегат, разделенный в общей сложности на семь зон. При этом за каждый технологический процесс отвечает своя подсистема автоматизированной системы управления.

Отходящие газы отсасываются не одним эксгаустером, как при агломерации, а несколькими. В соответствии с технологией процесса обжига для лучшего использования тепла машина разделена на технологические зоны, перекрытые сверху специальными

секциями горна. Тепловой режим в каждой секции устанавливают, как правило, независимо от режима других секций. Газы из каждой зоны отсасываются отдельными дымососами. Обычно конвейерная машина состоит из следующих зон: сушки (одна или две секции), подогрева, обжига (от одной до трех секций), рекуперации и охлаждения.

Функциональная схема обжиговой машины представлена на рисунке 1.

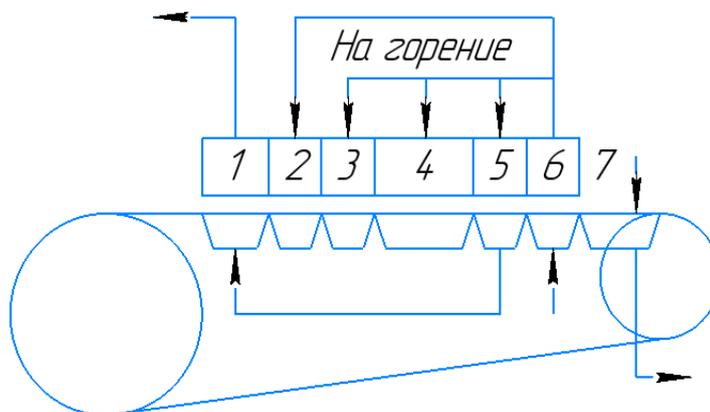


Рис. 1 – Функциональная схема обжиговой машины Lurgi-480

1 — зона сушки I; 2 — зона сушки II; 3 — зона подогрева; 4 — зона обжига; 5 — зона рекуперации; 6 — зона охлаждения I; 7 — зона охлаждения II

Современные обжиговые конвейерные машины имеют высокую производительность (3 млн. т/год и выше), позволяют регулировать режим обжига, приспособлены к производству различных видов окатышей из любых концентратов, отличаются простотой конструкции. К недостаткам конвейерных машин следует отнести необходимость применения для изготовления тележек жаропрочных сталей и высокотемпературных дымососов, что усложняет обслуживание машин и повышает эксплуатационные расходы на получение окатышей.

Кроме того, электрическая составляющая электропривода обжиговой машины устарела и нуждается в модернизации

Наиболее эффективным и энергосберегающим решением при проведении модернизации является применение системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

Система управления привода должна обеспечивать регулирование частоты вращения двигателя, а также точную, бесперебойную, экономичную работу в условиях повышенной запылённости, загрязнённости, большого перепада температур и повышенной вибрации; жесткие механические характеристики; минимальное время переходного процесса.

На основании требований, предъявляемых к электроприводу, производится выбор электродвигателя - 1LE1502-2BВ0.

Для надежной работы механизма обжиговой машины требуется преобразователь частоты, который соответствует режиму работы: скалярное управление - выбираем преобразователь частоты Siemens S120 6SL3120-1TE28-5AA1.

В связи с квадратичной нагрузкой был выбран закон регулирования

$$\frac{U}{f^2} = const \quad (1)$$

Модель асинхронного привода со скалярным управлением и пространственно векторной ШИМ представлена на рисунке 2. Данная модель включает в себя блоки: регулятора скорости, пространственно-векторного модулятора, трехфазного диодного выпрямителя, емкостного фильтра, трехфазного инвертора.

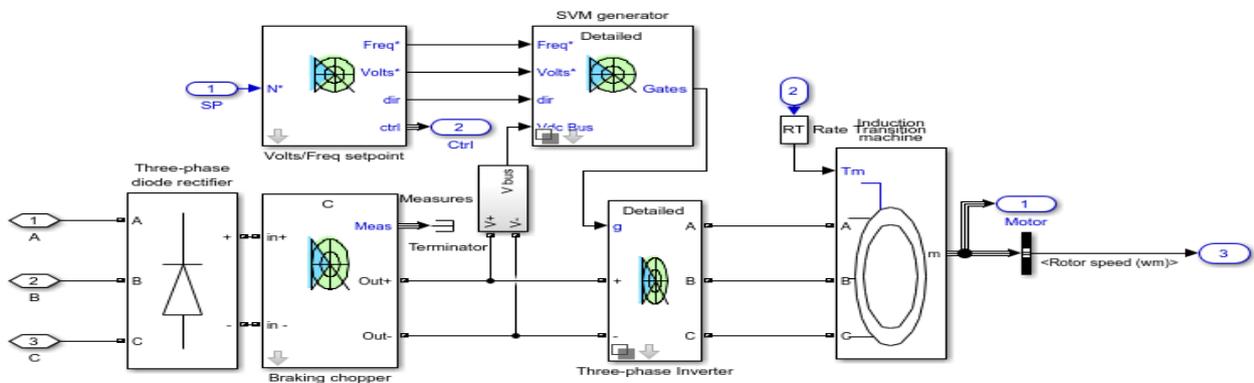


Рис. 2 – Модель асинхронного привода со скалярной системой управлением

Блок пространственно векторного модулятора реализует один из методов широтно - импульсной модуляции, но используются не мгновенные значения напряжений, а моменты времени подключения обмоток к силовому мосту, с целью генерации импульсов для детального или среднего значения трехфазного инвертора. Структура данного моста показана на рисунке 3.

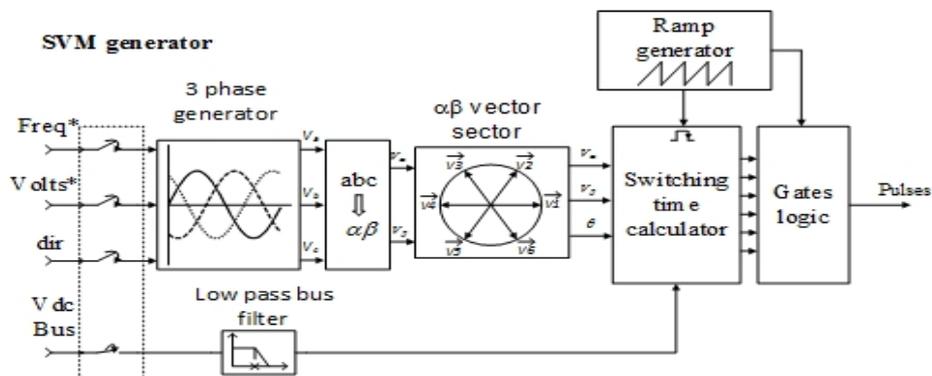


Рис. 3 – Структурная схема пространственно – векторного модулятора.

В результате моделирования асинхронного привода со скалярным управлением, были получены графики, представленные на рисунке 4.

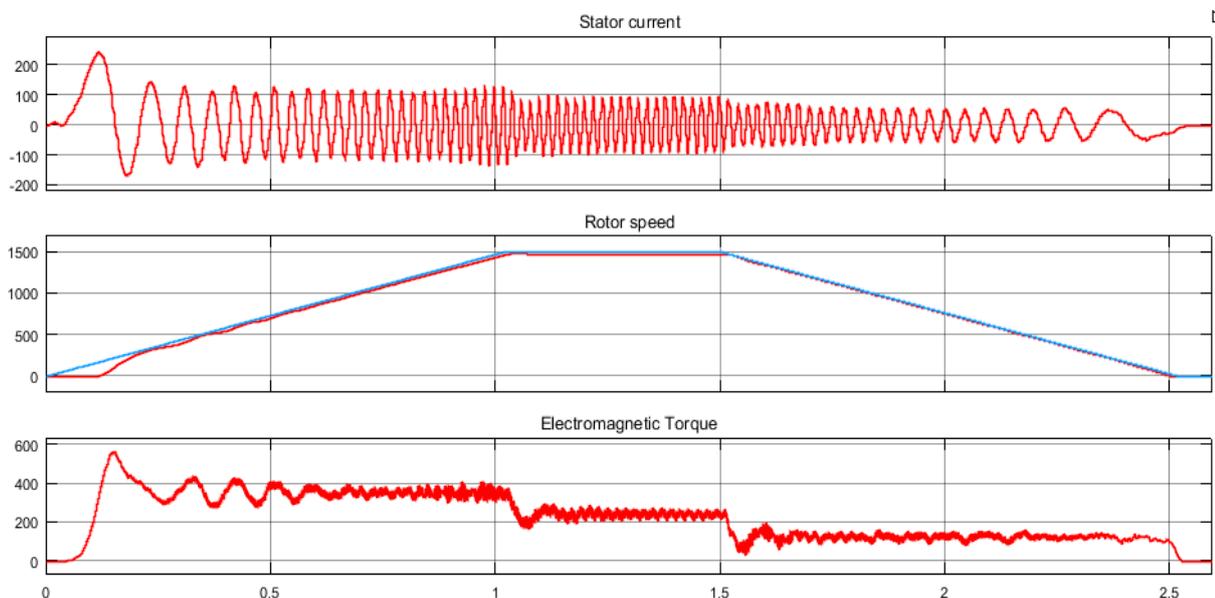


Рис. 4 – Графики результатов моделирования

Графики демонстрируют, что нагрузка была приложена к двигателю во всё время моделирования; ротор вращался в пределах заданной скорости без каких-либо скачков, ток статора оставался равномерным.

Результаты экспериментов позволяют сделать вывод о том, что выбранная система полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системе управления АЭП обжиговой машины

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов: учебник для вузов Серия: Высшее профессиональное образование: Электротехника/ О.И. Осипов.; под ред. В. М. Терехова. - 2-е изд., стер. - М.: Академия, 2006. - 304 с. - ISBN 978-5-7695-2911-3: 184-91 – Текст: непосредственный.
2. Обжиговая машина конвейерного типа: [Электронный ресурс]: Режим доступа: URL:https://yandex.ru/patents/doc/RU2059180C1_19960427?ysclid=m3cttlf895562855438 (дата обращения 11.11.2024)

АЭП НАСОСНОГО АГРЕГАТА 6ФШ-7А ПОДАЧИ ГОТОВОГО ШЛАМА

Гамбург К.С., Уварова И.В.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
kgsam@mail.ru, irauv@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается вопрос применения регулируемого электропривода насосной установки 6ФШ-7а для поддержания постоянного количества материала, подаваемого в печь.

Ключевые слова: насосный агрегат; асинхронный двигатель; автоматизированный электропривод; частотный преобразователь.

AUTOMATED ELECTRIC DRIVE OF THE PUMPING UNIT 6FSH-7A FOR THE SUPPLY OF FINISHED SLUDGE

Gamburg K.S., Uvarova I.V.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The article considers the issue of using an adjustable electric drive of the 6FSH-7a pumping unit to maintain a constant amount of material supplied to the furnace.

Keywords: pumping unit; asynchronous motor; automated electric drive; frequency converter.

Объектом исследования в данной статье является автоматизированный электропривод насосного агрегата 6ФШ-7а, который расположен в насосном отделении сырьевого цеха и предназначен для подачи готового шлама из бассейна № 9 по шламопроводам на обжиг во вращающуюся печь № 6.

АЭП насосной установки имеет ряд недостатков:

1. Работа двигателя насосной установки от сети, из-за чего:

- возможна только одна скорость;
- невозможно управлять разгоном,
- фиксированный пусковой момент;

- семикратные пусковые токи, что ведет к быстрому износу двигателя и неблагоприятно сказывается на энергосистеме (как следствие малый срок службы оборудования, большое число ремонтов и простоев оборудования по причине поломок, а это в свою очередь затраты на содержание оборудования);

- увеличенная термическая нагрузка;

- дополнительные функции (например, защита двигателя, плавный пуск) требуют дополнительных затрат;

- дополнительные шумы;

- существенное потребление электроэнергии в момент пуска;

2. Потери шлама в устройстве слива, предназначенного для отвода излишка шлама из печи.

Применение регулируемого электропривода насосной установки обеспечит следующее:

- снижение износа подшипников двигателя за счет плавного изменения числа оборотов, отсутствия больших пусковых токов;

- длительную работу механизма в рабочем диапазоне частоты и момента вращения и плавный останов;

- снижение износа коммутационной аппаратуры;

- обеспечение одновременной защиты двигателя от токов короткого замыкания, замыкания на землю, токов перегрузки, неполного фазного режима, недопустимых перенапряжений.

Цель регулирования расхода - поддержание постоянного количества материала, подаваемого в печь. Сигнал управления расхода должен быть пропорциональным рассогласованию от заданной величины расхода. Конкретные параметры регулятора подбираются при наладке, исходя из характеристик (в первую очередь инерционности) системы.

Поэтому система управления электроприводом должна обеспечивать выполнение следующих требований:

- плавный пуск;

- плавное изменение частоты вращения ротора в соответствии с заданием;

- регистрация (вывод на экран) основных параметров двигателя в удобной для чтения форме;

- длительная работа механизма в рабочем диапазоне частоты и момента вращения и плавный останов;

- обеспечение одновременной защиты двигателя от токов короткого замыкания, замыкания на землю, токов перегрузки, недопустимой асимметрии токов по фазам двигателя, неполного фазного режима, недопустимых перенапряжений, асимметрий напряжения питания электропривода;

- фиксирование превышения допустимой частоты вращения электродвигателя и несоответствие между заданным и действительным значением частоты вращения электродвигателя;

- сбор информации с датчиков технологических параметров, контроль исправности датчиков и линий связи, контроль параметров и сигнализация об отклонениях их от допустимых технологических пределов, а также передача их в АСУ верхнего уровня.

Исходя из требований к электроприводу и системе управления, в статье анализируются две схемы управления: схема векторного регулирования и схема скалярного управления АЭП насосной установки.

Векторный принцип управления базируется на принудительной взаимной ориентации векторов потокосцеплений и токов АДК в полярной или декартовой системах координат в соответствии с заданным законом регулирования.

За счет регулирования модулей переменных и углов между их векторами обеспечивается управление асинхронным двигателем, как в статике, так и в динамике, обеспечивая тем самым заметное улучшение качества переходных процессов. Именно этот факт является определяющим при выборе системы с векторным управлением и находит применение в электроприводах со средней и высокой динамикой.

Скалярный принцип частотного управления является наиболее распространенным в электроприводе. Ему свойственна техническая простота измерения и регулирования абсолютных значений переменных АД. Управление осуществляется по функциональной характеристике, связывающей напряжение и частоту статора электродвигателя законом регулирования

$$\frac{U}{f^2} = const \quad (1)$$

с применением модуля IR-компенсации для поддержания постоянства потокосцепления статора в соответствии с этой характеристикой. В статических режимах позволяет добиться за счет обратных связей желаемых свойств электропривода. Применяется для электроприводов, в которых отсутствуют высокие требования к динамике.

Приводы насосов занимают промежуточное положение между динамичными и низкодинамичными, поэтому для них, как правило, используют АЭП со скалярным управлением.

Модель асинхронного привода со скалярным управлением и пространственно векторной ШИМ представлена на рисунке 1. Данная модель включает в себя блоки: регулятора скорости, пространственно-векторного модулятора, трехфазного диодного выпрямителя, емкостного фильтра, трехфазного инвертора.

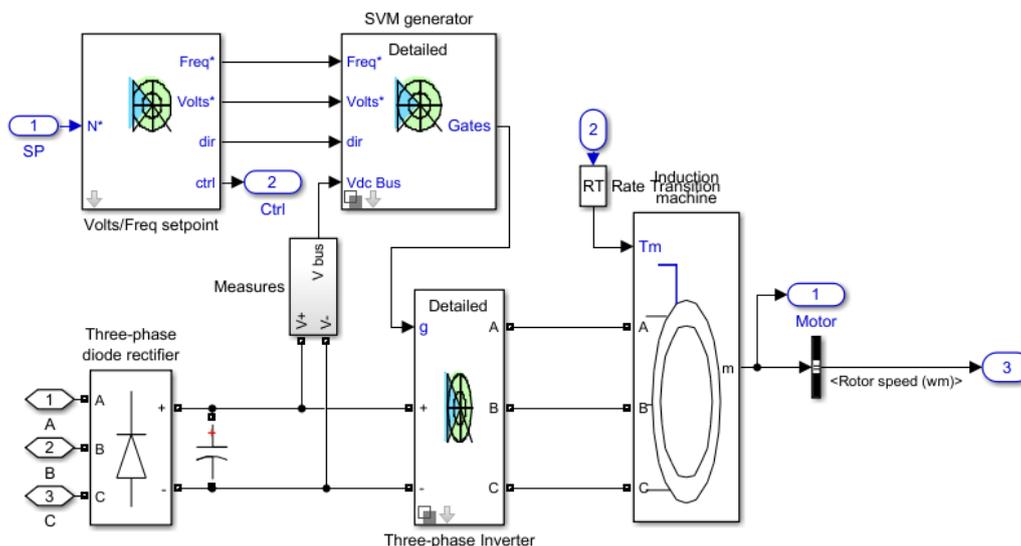


Рис. 1 – Модель асинхронного привода со скалярной системой управлением

В результате моделирования асинхронного привода со скалярным управлением, были получены графики, представленные на рисунке 2.

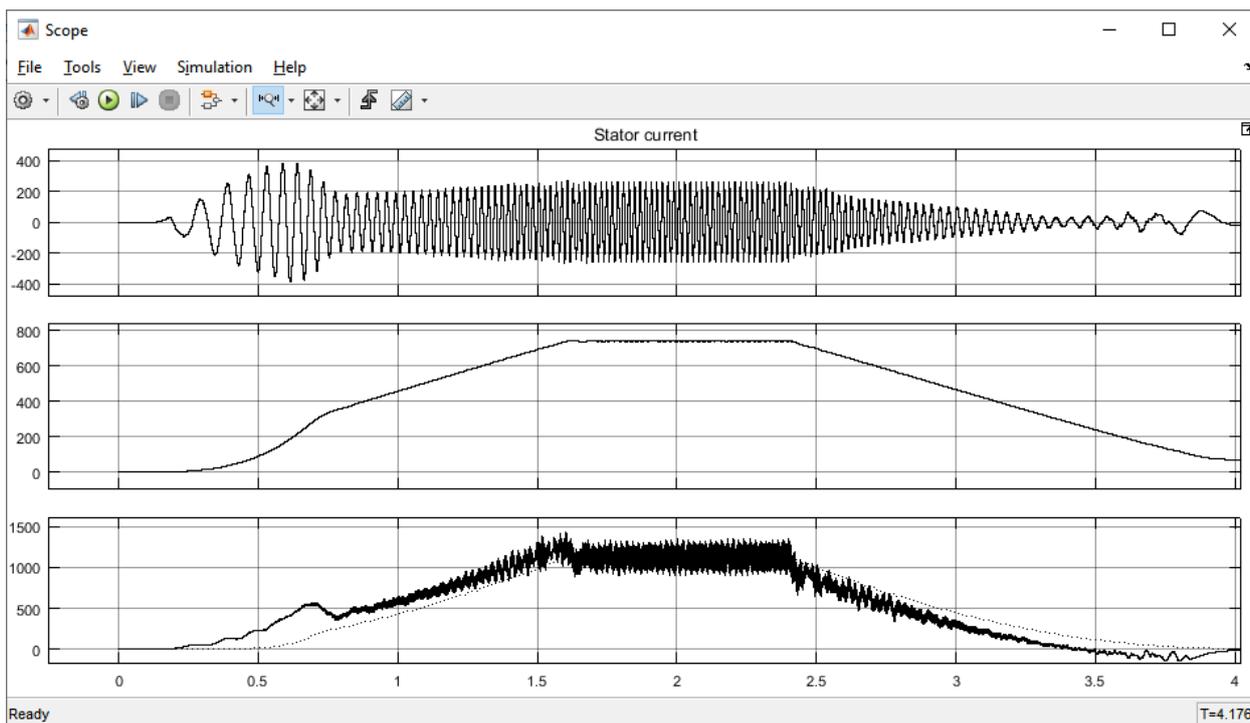


Рис. 2 – Графики результатов моделирования

Данная система плавно выводит ротор на заданную скорость, после чего происходит стабильная работа на номинальном моменте, затем происходит плавное торможение. Кроме того, по графику электромагнитного момента видно, что нагрузка была приложена к двигателю во всё время моделирования. Результаты экспериментов позволяют сделать вывод о правильности выбора системы управления насосной установкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов: учебник для вузов Серия: Высшее профессиональное образование: Электротехника/ О.И. Осипов.; под ред. В. М. Терехова. - 2-е изд., стер. - М.: Академия, 2006. - 304 с. - ISBN 978-5-7695-2911-3: 184-91 – Текст: непосредственный.

2. Насос для перекачки шлама и загрязнённых вод с остатками бентонита. [Электронный ресурс]: Режим доступа: URL <https://tsunami-pump.ru/shlam/qns/?ysclid=m3ctct1npx231081680> (дата обращения 11.11.24)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЗАКАЧКИ ЭПОКСИДНОГО ПОРОШКА НА УЧАСТКЕ АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ ТРУБ

Денисов Н.О.

Объединенная металлургическая компания Акционерное общество Выксунский металлургический завод

ВФ НИТУ МИСИС, Россия, г. Выкса, 607114

denisov_no@omk.ru, 8-929-041-22-24

***Аннотация.** В наше время, в век высоких технологий обширно внедряется автоматизация и механизация ручного труда, как в быту, так и на производстве. Практически вся промышленность механизирована и автоматизирована. Люди нужны лишь для контроля тех. процессов и ремонта техники. Но несмотря на это, встречаются некоторые операции, проводимые вручную, из-за чего приходится считаться с человеческим фактором.*

Целью данного проекта является автоматизация транспортировки эпоксидного праймера по магистрали и исключение человеческого фактора при контроле уровня в резервуаре.

Были поставлены некоторые задачи перед разработкой проекта: проанализировать тех. процесс нанесения эпоксидного праймера на наружную поверхность трубы, обнаружить недостатки, понять влияние человеческого фактора, разработать мероприятия, спрогнозировать эффект от реализации.

Определены результаты и значимость проекта: благодаря проделанной работе инициативной группы контроль уровня порошка в резервуаре осуществляется программно, закачка и транспортировка праймера производится автоматически. Теперь от сотрудников требуется лишь бдительный контроль за работой оборудования. Исключен трудоемкий физический труд.

Ключевые слова: автоматизация; ручной труд; эпоксидный праймер – порошок.

AUTOMATION OF THE EPOXY POWDER COATING PROCESS AT THE PIPE ANTICORROSION COATING SITE

Denisov N.O.

United Metallurgical Company Joint Stock Company Vyksa Metallurgical Plant

VF NUST MISIS, Russia, Vyksa, 607114

***Abstract.** Nowadays, in the age of high technology, automation and mechanization of manual labor are being extensively introduced, both in everyday life and in production. Almost the entire industry is mechanized and automated. People are needed only to control technical processes and repair equipment. But despite this, there are some operations performed manually, which is why you have to take into account the human factor.*

The purpose of this project is to automate the transportation of epoxy primer along the main line and eliminate the human factor when monitoring the level in the tank. Some tasks were set before the development of the project: to analyze the technical process of applying an epoxy primer to the outer surface of the pipe, to detect flaws, to understand the influence of the human factor, to develop measures, to predict the effect of implementation.

The results and significance of the project are determined: thanks to the work done by the initiative group, the control of the powder level in the tank is carried out programmatically, the primer is pumped and transported automatically. Now employees are only required to vigilantly monitor the operation of the equipment. Laborious physical labor is excluded.

Keywords: automation; manual labor; epoxy primer powder.

На участке антикоррозионного покрытия труб №3,4 АО «ВМЗ» в качестве компонента антикоррозионного покрытия используется эпоксидный праймер (порошок). Данный порошок закачивается пневматическим насосом из помещения растаривания в рабочий бункер, а оттуда подается на эпоксидные пистолеты. Также в транспортной цепи эпоксида имеется весовая установка, которая взвешивает восстановленный порошок с чистым. Контроль уровня эпоксида в накопительном и рабочем бункерах ведется визуально персоналом. От этого уровня зависит производительность весовой установки и, как следствие, давление потока эпоксидного порошка, разжижение в бункере и т.д. Эти параметры влияют на толщину наносимого слоя эпоксида. Недостаточный контроль уровня эпоксида может привести к утонению по эпоксиду на поверхности трубы или к увеличенной толщине.

Инициативной группой проведена установка емкостных датчиков в накопительном и рабочем бункерах. Совместно с сотрудниками АСУТП прописана программа по автоматической закачке эпоксида при пониженном уровне в рабочем бункере. Весь процесс транспортировки визуализирован на HDMI панель пульта управления экструдера для контроля операторами ПУ.

Данное решение исключило факт возможных отклонений по толщине эпоксидного слоя, т.к. привело к отсутствию человеческого фактора при контроле уровня эпоксида в накопительном бункере.

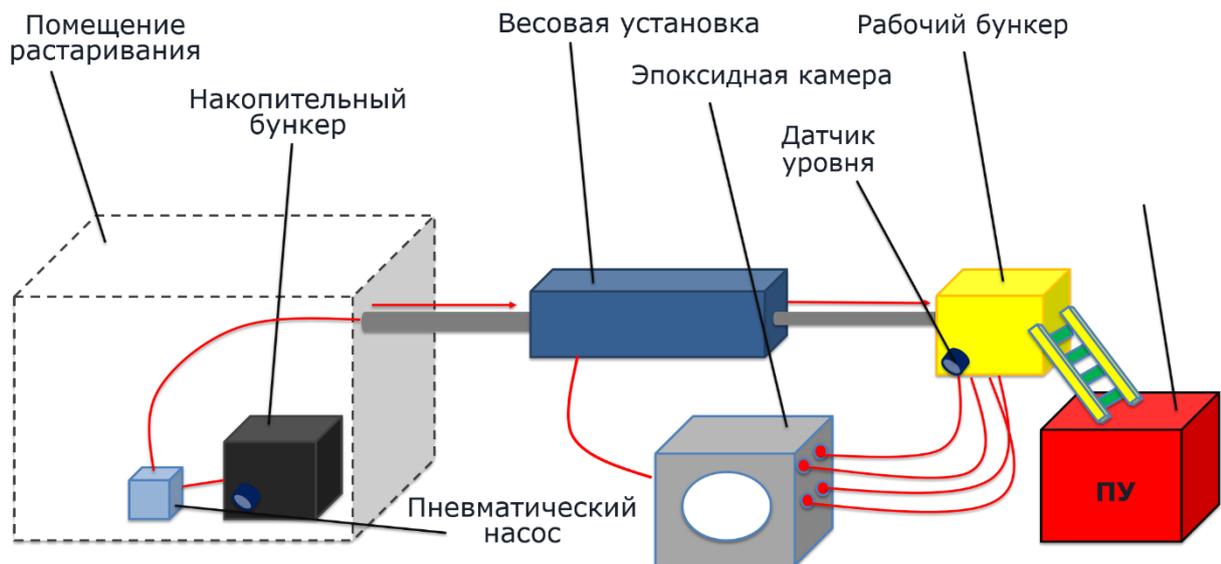


Рис. 1 – Схема транспортировки эпоксидного праймера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Принцип работы ёмкостных датчиков URL: <https://leuze.ru/emkostnye-datchiki>.
2. Эпоксидный праймер URL: <https://lkmpolymer.ru/publication/epoksidnyi-praimer>.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕДРЕЙСОВОГО ОСМОТРА САМОСВАЛОВ В НОТАЦИИ BPMN

Епифанов Н.А., Ковтун Н.И.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
nikintnia@rambler.ru, kovtun-n-i@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается структура автотранспортного цеха, описываются задачи участников предрейсового осмотра карьерных самосвалов, проводится моделирование процесса предрейсового осмотра и ставятся задачи на проектирование автоматизированной системы.

Ключевые слова: BPMN диаграмма; оценка технического состояния карьерного самосвала; автоматизация процессов передачи и обработки информации.

MODELING THE PROCESS OF PRE-TRIP INSPECTION OF DUMP TRUCKS IN BPMN NOTATION

Epifanov N.A., Kovtun N.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The article examines the structure of the motor transport workshop, describes the tasks of participants in the pre-trip inspection of mining dump trucks, models the pre-trip inspection process and sets tasks for designing an automated system.

Keywords: BPMN diagram; assessment of the technical condition of a mining dump truck; automation of information transfer and processing processes.

На Стойленском горно-обогатительном комбинате тяжелая техника играет ключевую роль в обеспечении всех этапов производственного процесса, начиная с добычи и заканчивая транспортировкой. Самосвалы используются для вывоза вскрышной породы, которая удаляется для доступа к полезным ископаемым. После добычи руды она транспортируется самосвалами на обогатительные фабрики или склады для дальнейшей переработки. Самосвалы также используются для создания отвалов, где складывается вскрышная порода.

Карьерные самосвалы подразделяются на:

– большегрузные, которые используются для перевозки больших объемов породы, объем кузова может достигать 300-400 кубических метров, а грузоподъемность — до 360 тонн;

– среднетоннажные, которые подходят для средних по размеру карьеров, объем кузова обычно составляет 50-150 кубических метров, а грузоподъемность – 50-120 тонн.

Эти машины – дорогие, технически сложные и потенциально опасные в эксплуатации устройства, их техническое состояние напрямую влияет на эффективность всего производственного процесса. Ежегодно предприятие вкладывает значительные средства в эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт самосвалов. Постоянный контроль и технические осмотры карьерных самосвалов позволяют своевременно выявлять неисправности, предотвращая серьёзные поломки.

В настоящее время одним из ключевых этапов обеспечения безопасности и бесперебойной работы на производственных объектах является предрейсовый осмотр самосвалов. Основная цель осмотра – выявить возможные неисправности, способные повлиять на безопасность и работоспособность техники, и предотвратить эксплуатацию самосвала в случае обнаружения серьёзных поломок.

Эксплуатацией и обслуживанием карьерных самосвалов занимаются сотрудники автотранспортного цеха (рис. 1), работающие в отделении по эксплуатации транспортных средств и отделении по ремонту транспортных средств.

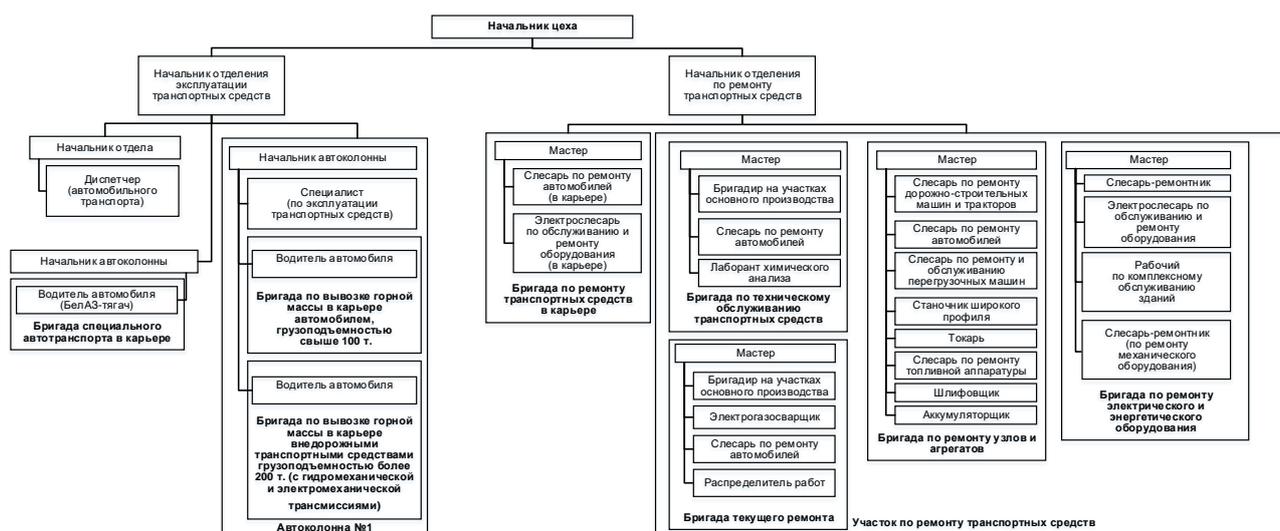


Рис. 2 – Организационная структура автотранспортного цеха

Водители самосвалов отвечают за транспортировку горной массы; контроль технического состояния самосвала в течение смены; оперативное выявление и сообщение о неисправностях. Водитель тягача занимается транспортировкой тяжелой техники. Диспетчеры получают данные о неисправностях от водителей и других сотрудников; передают информацию в ремонтные бригады для устранения проблем; регистрируют случаи поломок и выполненные ремонтные работы в системе SAP; при возникновении серьёзных поломок, которые требуют немедленного вмешательства, диспетчеры организуют транспортировку техники и перенаправляют водителей на новый самосвал. Бригада специалистов по ремонту транспортных средств в карьере занимается устранением небольших поломок и проведением работ, не требующих длительного времени и транспортировки машины в ремонтную зону, например, подкачкой и регулировкой давления в шинах; заменой изношенных или повреждённых расходных материалов, таких как фильтры, ремни, мелкие детали крепежа; регулировкой и настройкой компонентов для поддержания оптимальной работы оборудования; проверкой и доведением до необходимого уровня технических жидкостей (масла, охлаждающей жидкости и др.); мелким ремонтом электрических и гидравлических систем, заменой предохранителей, клемм, шлангов и других элементов. Специалисты участка по ремонту транспортных средств выполняют работы по восстановлению технического состояния самосвалов и другого оборудования, производят ремонт крупных и критически важных узлов.

Рассмотрим текущий бизнес-процесс предрейсового осмотра самосвала (рис. 2) в нотации BPMN [1].

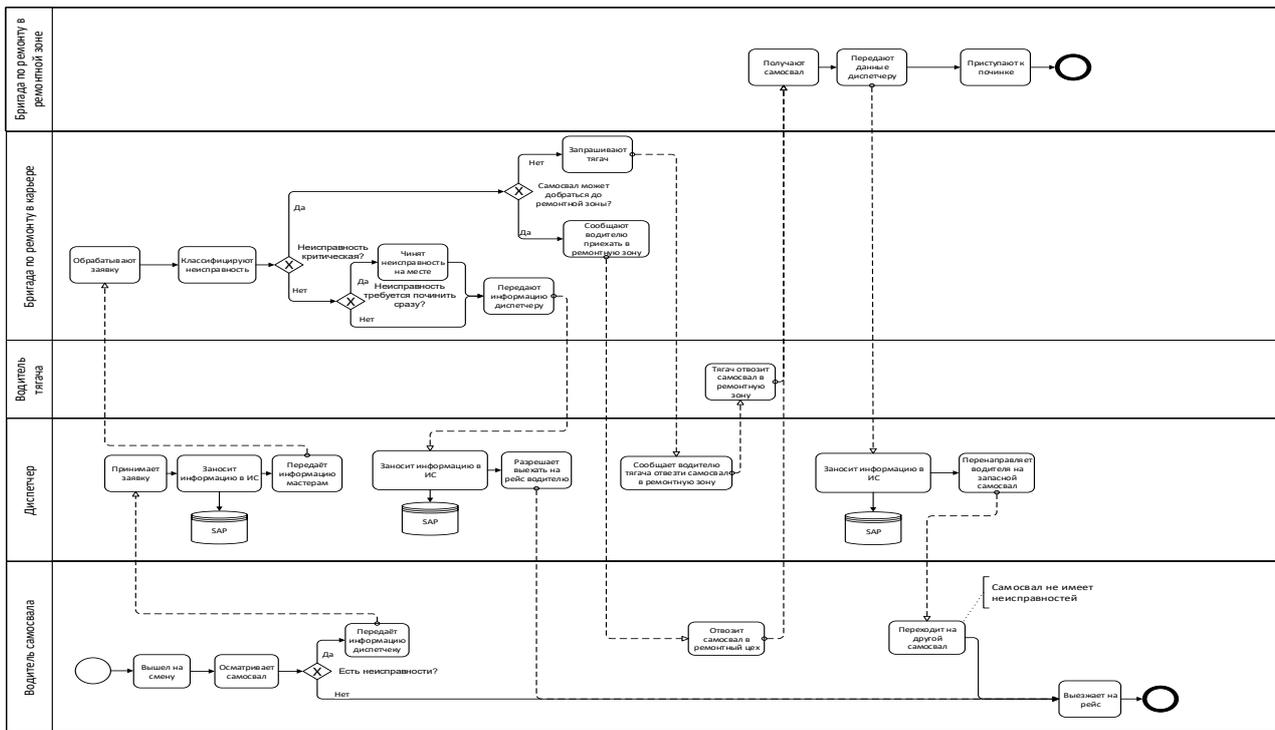


Рис. 3 – BPMN диаграмма процесса предрейсового осмотра

Выйдя на смену, водитель самосвала проводит осмотр транспортного средства в соответствии с чек-листом, содержащим перечень контрольных параметров и критериев всех элементов и узлов, подлежащих проверке, в соответствии с требованиями к их состоянию и работоспособности [2].

В случае найденной неисправности водитель передаёт информацию диспетчеру. Диспетчер заносит заявку в SAP и передаёт информацию мастеру в карьере. Мастер получает данные о выявленной неисправности и проводит её классификацию в зависимости от степени критичности и возможного влияния на безопасность и работоспособность техники. На основании этой оценки мастер разрабатывает план, определяющий необходимые действия: продолжение эксплуатации с соблюдением определённых мер предосторожности, устранение неисправности на месте или необходимость отправки самосвала в ремонтную зону для технического обслуживания.

При выявлении критической неисправности самосвал подлежит немедленной отправке в ремонтную зону. Если транспортное средство не способно двигаться самостоятельно, используется тягач для его буксировки. Водитель максимально подробно сообщает мастеру о характере неисправности, чтобы обеспечить точность диагностики. Мастер классифицирует неисправность и координирует работу ремонтной бригады, указывая приоритеты и порядок действий для эффективного устранения проблемы. Одновременно мастер передаёт данные о неисправности диспетчеру, который направляет водителя на резервный исправный самосвал, позволяя ему продолжить рабочую смену.

В случае, когда обнаружена неисправность, требующая немедленного устранения, но не требующая перемещения самосвала в ремонтную зону, мастер координирует действия ремонтной бригады. После оперативного устранения неисправности бригада сообщает об успешном завершении ремонта диспетчеру, который фиксирует информацию о произведённых работах в системе SAP и предоставляет водителю разрешение на возобновление рейса.

Если неисправность носит незначительный характер и не требует срочного ремонта, информация о ней также передаётся диспетчеру. Диспетчер фиксирует данное состояние в системе SAP для учёта при последующих плановых технических осмотрах и разрешает водителю продолжить работу на данном самосвале.

В существующем процессе предрейсового осмотра самосвалов можно выделить несколько проблем:

1. Информация о состоянии самосвалов, заявках и ремонтах передаётся по рации от бригады к диспетчеру и обратно. Этот способ коммуникации снижает оперативность и приводит к ошибкам, неточностям при передаче данных.

2. Нагрузка на диспетчера, выполняющего сразу несколько задач (фиксирование неисправностей, передача информации мастерам, распределение водителей), часто ведёт к замедлению обработки информации и может привести к ошибкам. Задержки в передаче информации от диспетчера к водителю и мастеру усложняют процесс принятия решений и снижают эффективность ремонтного процесса.

Эти проблемы указывают на необходимость комплексного решения, которое могло бы автоматизировать процессы передачи и обработки информации, оптимизировать взаимодействие между участниками, а также сократить время простоя. Введение комплексной системы учета предрейсового осмотра позволило бы упростить диагностику и фиксацию неисправностей.

Таким образом актуальной задачей является разработка автоматизированной информационной системы, которая обеспечит:

1. Проведение диагностики самосвала по стандартизированному алгоритму. Система будет сопровождать водителя на каждом этапе проверки, предоставляя чёткие инструкции по выполнению осмотра и фиксируя результаты в электронном виде.

2. При выявлении неисправности система будет автоматически отправлять сведения в SAP и мастеру по ремонту.

3. После диагностики или получения данных от мастера, система будет предоставлять водителю конкретные рекомендации по дальнейшим действиям (продолжить рейс, доставить самосвал в ремонтную зону, провести несложный ремонт на месте).

4. Система будет автоматически обновлять статус каждой единицы техники, формируя отчёты для анализа частоты и типов неисправностей. Эти данные позволят улучшить планирование профилактического обслуживания и оптимизировать нагрузку ремонтных бригад.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Зуева, А. Н. Моделирование бизнес-процессов в нотации BPMN 2.0: учебное пособие/ А. Н. Зуева. – Москва: РТУ МИРЭА, 2021. – 105 с.

2. Карьерные самосвалы серии БЕЛАЗ-7531: БЕЛАЗ-75310, БЕЛАЗ-75311, БЕЛАЗ-75312, БЕЛАЗ-75313, БЕЛАЗ-75315, БЕЛАЗ-75318, БЕЛАЗ-7531С: руководство по ремонту. ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ». Жодино, Республика Беларусь: 2019 – 204 с.

**ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ГРАДИЕНТА ЦЕЛЕВОГО ФУНКЦИОНАЛА ОБРАТНОЙ
КОЭФФИЦИЕНТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СОСТОЯНИЙ СРЕДЫ,
ОПИСЫВАЕМЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИМ УРАВНЕНИЕМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА**

Жуков П.И.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
rockwell@control-mail.ru

***Аннотация.** В работе рассматривается способ интерполяции градиента целевого функционала для обратных коэффициентных задач параболических уравнений первого порядка. Предлагается способ пространственной аппроксимации параболического уравнения первого порядка при помощи функции, непрерывно дифференцируемой по его параметрам. На основе данной функции предлагается метод расчета градиента целевого функционала для ситуации, когда напрямую невязка между эталонным состоянием сплошной среды и её модельным значением не может быть определена.*

Ключевые слова: параметрическая оптимизация; нестационарные процессы; коэффициентные обратные задачи; параболические уравнения.

**INTERPOLATION OF THE GRADIENT OF THE TARGET FUNCTIONAL OF THE
INVERSE COEFFICIENT PROBLEM FOR NON-STATIONARY STATES OF THE
MEDIUM DESCRIBED BY A FIRST-ORDER PARABOLIC EQUATION**

Zhukov P.I.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** In this paper we consider a method of interpolation of the gradient of the target functional for inverse coefficient problems of first order parabolic equations. We propose a method of spatial approximation of the first-order parabolic equation by means of a function continuously differentiable with respect to its parameters. On the basis of this function, we propose a method for calculating the gradient of the target functional for the situation when the mismatch between the reference state of a continuous medium and its model value cannot be determined directly.*

Keywords: parametric optimization; nonstationary processes; coefficient inverse problems; parabolic equations.

Введение

Нестационарные во времени процессы в сплошных средах описываются, обычно, дифференциальными уравнениями следующего вида:

$$\dot{Q} = \operatorname{div}(\varphi \cdot \operatorname{grad}(Q)) + f \quad (1)$$

Здесь Q – это внутреннее состояние среды, \dot{Q} – это первая производная состояния среды во времени, f – это функция внутренних источников в среде, φ – связующий коэффициент при функции источников. Данный вид уравнений классифицируется, как параболические дифференциальные уравнения, которые вне абстрактных задач Коши имеют единственное решение только при наличии некоторых граничных условий. В обобщенном виде такие граничные условия можно записать следующим образом:

$$-\psi \cdot \operatorname{grad}(Q) = g_x(Q), \quad (2)$$

где ψ – это связующий коэффициент, который определяет степень влияния функции внешнего воздействия $g_x(Q)$ и изменением пространственного состояния среды. Возможны ситуации, при которых $\psi = \varphi$, однако чаще можно обнаружить, что $\psi \in \varphi$. Когда параметры ψ и φ изменяются вслед за изменением внутреннего состояния исследуемой среды, то возникают функциональные зависимости следующего вида:

$$\psi = f_\psi(Q); \varphi = f_\varphi(Q) \quad (3)$$

Конечный вид указанных в (3) функциональных зависимостей может быть неизвестен для отдельных сред, тогда нельзя говорить о корректности задачи на основе уравнения (1) по Адамару [1]. Это ограничение потребует решать некоторую обратную задачу для восстановления искомой зависимости, которая условно корректна по Тихонову [2], т.е. имеет решение только в классе функций.

Для формулировки такого вида задачи предположим, что исследуемая сплошная среда определена в конечномерном евклидовом пространстве и описывается следующим образом:

$$\Omega = \bar{\Omega} \cdot [0, T], \quad \bar{\Omega} = \{x \mid 0 \leq x \leq H\}, \quad 0 \leq t \leq T \quad (4)$$

Тогда дифференциальное уравнение (1) можно переписать в виде частных производных:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(f_\varphi(Q) \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} \right) \quad (5)$$

В уравнении (5) опустим второе слагаемое в правой части, предполагая, что внутренних источников в исследуемой среде отсутствует. Пусть имеет место полная постановка Коши:

$$Q(x,0) = Q_0, \quad Q(0,t) = Q_0, \quad Q(H,t) = -\frac{g_x(Q(H,t))}{f_\psi(Q(H,t))} \quad (6)$$

тогда суть коэффициентной обратной задачи сводится к нахождению f_φ и f_ψ , например по дополнительным наблюдениям в точках среды (\hat{x}, t) для которых присутствуют эталонные наблюдения, благодаря которым можно вычислить некоторый функционал невязки $J(\varphi|\psi)$.

$$J(\varphi|\psi) = \sum_{\hat{x}=1}^{\hat{X}} (Q(\hat{x}, t; \{\varphi|\psi\}) - Q_s)^2 dt \quad (7)$$

Здесь \hat{X} – это количество точек \hat{x} для которых определены внутренние состояние среды Q_s , благодаря которым можно вычислить функционал (7). На основе этого функционала ставится обратная сопряженная задача и находятся такие функциональные зависимости $f_\varphi(Q)$ и $f_\psi(Q)$. Более подробное решение данной задачи есть в работах Самарского и Вабищевича [3].

Упомянутая обратная коэффициентная задача имеет аналогичный способ решения в ситуациях, когда эталонные наблюдения предполагаются известными не для конкретной пространственной точки x , а для всего набора пространственных состояний в момент времени t . И в одном и в другом случае наблюдается необходимость в экспериментально получаемых дополнительных наблюдениях. Количество этих дополнительных наблюдений напрямую влияет на качество идентификации параметров при решении обратной задачи.

В данной работе предлагается метод интерполяции градиента целевого функционала для нестационарных состояний, для ситуации зависимости $f_\varphi(Q)$ и $f_\psi(Q)$ от переходных состояний среды Q определенной обобщенно для момента времени t , которые не могут быть вычислены напрямую.

Предлагаемое решение

Перед тем, как приступить к самому методу интерполяции градиента целевого функционала (7) на переходные состояния среды необходимо ввести метрику обобщения пространственных состояний. Для этого рассмотрим следующее финитное представления уравнения (5) для которого выполняется условие (9)

$$\frac{Q_x^{t+1} - Q_x^t}{\Delta t} = \bar{\varphi} \cdot \frac{Q_{x+1}^t - 2 \cdot Q_x^t + Q_{x-1}^t}{\Delta x^2} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \bar{Q} \in [Q_x^0, Q_x^1, Q_x^2, \dots, Q_x^N] \\ \bar{\varphi} \in [\varphi_m^0, \varphi_m^1, \varphi_m^2, \dots, \varphi_m^N] \end{cases} \Rightarrow \bar{\varphi} \parallel \bar{Q} \quad (9)$$

Таким образом, можно предположить, что обобщенное уравнение смены состояния среды вдоль t есть рекуррентная функция, которая зависит от предыдущего состояния и значения φ в этот момент времени. Определим обобщенное состояние по следующему принципу (рис.1).

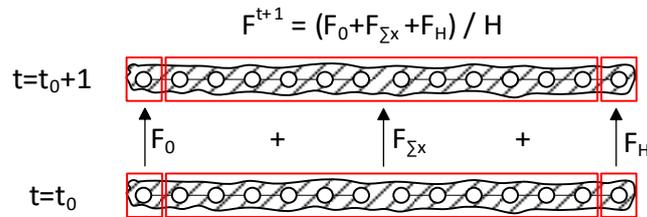


Рис. 1 – Мнемосхема разрабатываемой системы

Состояния на границах исследуемой среды может быть определено следующим образом:

$$\begin{aligned} F_0 &= Q_0^t - \frac{2 \cdot \varphi_m^t \cdot \Delta t \cdot (Q_0^t + Q_1^t)}{\Delta x^2} + \frac{2 \cdot \varphi_m^t \cdot \Delta t \cdot f_x(Q_0^t)}{\Delta x \cdot \psi_m^t} \\ F_H &= Q_H^t - \frac{2 \cdot \varphi_m^t \cdot \Delta t \cdot (Q_H^t + Q_{H-1}^t)}{\Delta x^2} + \frac{2 \cdot \varphi_m^t \cdot \Delta t \cdot f_x(Q_H^t)}{\Delta x \cdot \psi_m^t} \end{aligned} \quad (10)$$

Внутренние состояния среды могут быть определены путем усреднения внутренних состояний сплошной среды в предыдущий момент времени:

$$\sum_{x=1}^{H-1} Q_x^{t+1} = \frac{\Delta x^2 \cdot \sum_{x=1}^{H-1} Q_x^t + \Delta t \cdot \varphi_m^t \cdot \left(\sum_{x=1}^{H-1} Q_{x-1}^t + \sum_{x=1}^{H-1} Q_{x+1}^t - 2 \sum_{x=1}^{H-1} Q_x^t \right)}{\Delta x^2} \quad (11)$$

В результате обобщенная функция смены состояния будет иметь следующий вид:

$$F^{t+1} = \frac{\varphi_m^t \cdot \Delta t \cdot (Q_H^t - Q_{H-1}^t + Q_0^t - Q_1^t)}{H \cdot \Delta x^2} + \frac{2 \cdot \varphi_m^t \cdot \Delta t \cdot (f_x(Q_0^t) + f_x(Q_H^t))}{H \cdot \psi_m^t \cdot \Delta x} \quad (12)$$

Предложенная функция дифференцируема непрерывно как по φ , так и по ψ , что позволяет использовать её при решении оптимизационной задачи. Теперь рассмотрим предлагаемый принцип интерполяции градиента целевого функционала для нестационарных состояний. Для этого перепишем функционал (7) следующим образом:

$$L^S = f(F^S(Q_x^S, \varphi_m^S), Q_S) \rightarrow \min \quad (13)$$

Тогда для стационарных состояний, в которых известны эталонные значения ошибка может быть вычислена следующим образом

$$\frac{\partial L^S}{\partial \varphi_m^S} = \frac{\partial L^S}{\partial F^S} \cdot \frac{\partial F^S}{\partial \varphi_m^S}; \quad \frac{\partial L^S}{\partial \varphi_m^S} = \frac{\partial L^S}{\partial F^S} \cdot \frac{\partial F^S}{\partial \psi_m^S} \quad (14)$$

Проследить ошибку для переходных процессов можно через мультипликативный вклад φ от одного стационарного состояния (S_1) в обратную сторону до другого (S_2). Для этого необходимо применить следующие формулы:

$$\begin{cases} \frac{\partial L^t}{\partial \varphi_m^t} = \left(\frac{\partial F^t}{\partial \varphi_m^t} \cdot \frac{\partial F^t}{\partial \bar{Q}_x^t} \right) \cdot \frac{\partial L^{t+1}}{\partial \varphi_m^{t+1}} \\ \frac{\partial L^t}{\partial \psi_m^t} = \left(\frac{\partial F^t}{\partial \psi_m^t} \cdot \frac{\partial F^t}{\partial \bar{Q}_x^t} \right) \cdot \frac{\partial L^{t+1}}{\partial \psi_m^{t+1}} \end{cases}, t = (S_1; S_2) \quad (15)$$

Таким образом, используя (14) можно определить градиент ошибки для двух стационарных состояний, а затем применяя (15) можно восстановить градиент ошибки для переходных состояний среды и применять любой из доступных методов релаксации [4] к дискретным значениям φ и ψ , чтобы провести коррекцию доставляя минимум функционалу (13).

Заключение

В данной работе был предложен способ интерполяции градиента ошибки для нестационарных состояний сплошной среды при решении обратной коэффициентной задачи на основе параболического уравнения первого порядка. Способ интерполяции был рассмотрен для ситуации, когда коэффициенты дифференциального уравнения не зависят от пространственного расположения, а являются общими для момента времени t . В работе предложен подход, который позволяет обобщить состояние среды в момент времени $t+1$ по предыдущим пространственным состояниям, что может быть расценено, как численная аппроксимация параболического уравнения первого порядка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Матус П. П., Утебаев Б. Д. Компактные и монотонные разностные схемы для параболических уравнений //Математическое моделирование. – 2021. – Т. 33. – №. 4. – С. 60-78.
2. Бахмутский М. Л. Абсолютная устойчивость явных разностных схем для уравнения теплопроводности при регуляризации по Фурье-Тихонову //Программные продукты и системы. – 2023. – Т. 36. – №. 2. – С. 272-280.
3. Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Численные методы решения обратных задач математической физики. – Изд. стер. - М.: URSS: Изд-во ЛКИ, 2015.

4. Ванг Л., Ву Х., Матвеев И. А. Метод стохастического градиента с шагом Барзилай–Борвейна для безусловной нелинейной оптимизации //Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2021. – №. 1. – С. 79-90.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МНОЖЕСТВЕННОЙ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Ковтун М.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, г. Москва
frostophelp@ya.ru*

***Аннотация.** Рассматривается пример анализа данных методом множественной линейной регрессии с кодированием на Python для задачи прогнозирования. Основным методом оценивания параметров является метод наименьших квадратов.*

Ключевые слова: анализ данных на основе методов машинного обучения; линейная регрессия; коэффициент детерминации.

APPLICATION OF THE MULTIPLE LINEAR REGRESSION METHOD FOR THE FORECASTING PROBLEM

Kovtun M.V.

National Research Nuclear University "MEPhI", Russia, Moscow

***Abstract.** An example of data analysis using the multiple linear regression method with Python coding for a forecasting problem is considered. The main method for estimating parameters is the Ordinary Least Squares method (OLS).*

Keywords: data analysis based on machine learning methods; linear regression; coefficient of determination.

Оценивание факторов в различных областях (например, в бизнесе, экономике, социологии) – важный шаг для принятия обоснованных решений. Одним из основных этапов в данном процессе является анализ данных с использованием количественных методов (статистический, регрессионный, корреляционный анализ) для оценки влияния факторов и качественных методов (интервью, экспертные оценки) для более глубокого понимания контекста.

Линейная регрессия – один из самых простых и часто применяемых методов машинного обучения для предсказания числовых значений на основе входных данных и интерпретации результатов. Коэффициенты модели показывают, как изменение каждой

независимой переменной влияет на зависимую переменную, что особенно полезно в случаях, когда важно объяснить результаты модели пользователям, не обладающими специфическими знаниями. Линейная регрессия требует относительно мало вычислительных ресурсов, что позволяет быстро обучать модели даже на больших наборах данных. Это делает её подходящей для проведения онлайн-анализа. Существуют многочисленные статистические тесты и критерии, которые помогают оценить качество модели и значимость коэффициентов. Линейная регрессия может быть расширена различными способами, например, путём добавления полиномиальных членов (полиномиальная регрессия) или взаимодействий между переменными. Также можно использовать регуляризацию (L1, L2) для предотвращения переобучения и улучшения обобщающей способности модели. Хотя линейная регрессия может быть чувствительна к выбросам, существуют методы, такие как *robust regression*, которые позволяют смягчить их влияние.

Множественная линейная регрессия является расширением простой линейной регрессии, которая рассматривает только одну независимую переменную. Она используется для моделирования зависимости одной независимой переменной (целевой переменной) от нескольких независимых переменных (предикторов).

Рассмотрим пример анализа данных методом множественной линейной регрессии с кодированием на Python для задачи прогнозирования цены б/у машин по Москве с интернет-сервиса, размещающего информацию о товарах, используя следующие признаки:

- марка автомобиля: машины с одинаковыми параметрами, но разных производителей, могут иметь разную цену из-за сложившихся стереотипов вокруг бренда, например, немецкие автомобили зарекомендовали себя как надёжный и качественный продукт, а китайские машины пока не приблизились по качеству к немецким коллегам. Поэтому с повышением уровня доверия к марке автомобиля будет повышаться и цена;

- возраст автомобиля – чем больше значение, тем меньше цена;
- пробег – чем больше значение, тем меньше цена. Пробег и возраст были включены в исследование, поскольку возможны ситуации, когда автомобилю много лет, но он большую часть времени стоял в гараже, поэтому у него маленький пробег. Обратная ситуация также возможна (например, для дальнобойщиков);

- трансмиссия – автомобили с автоматической трансмиссией обычно стоят дороже аналогичных моделей с механической: это связано с тем, что АКПП обеспечивает более комфортное управление. Получим следующее отношение влияния на цену автомобиля для четырех существующих типов трансмиссии: $MT < AMT < CVT < AT$;

- мощность – чем больше значение, тем выше цена;

- тип кузова – оказывает влияние на остаточную стоимость автомобиля на вторичном рынке: кроссоверы и популярные седаны удерживают цену лучше, благодаря высокому спросу и универсальности, тогда как более нишевые типы кузовов, такие как кабриолеты и купе, теряют в цене быстрее из-за ограниченного числа покупателей. Градация по стоимости: хэтчбек < седан < минивэн (MPV) < универсал < кроссовер (SUV) < купе < кабриолет;

- привод – полный привод повышает машину в цене, в отличие от одного переднего, потому что он надежнее и обладает повышенной проходимостью. Однако автомобили с задним приводом полноприводным в стоимости не уступают – это связано с тем, что производство автомобилей с задним приводом более затратное, а их число на мировом авторынке ограничено;

- тип двигателя – очевидно, что электрокары будут стоить дороже обычных автомобилей. Также на цену влияет распространённость того или иного типа двигателя. Сравнимость по стоимости на вторичном рынке: дизельные \approx бензиновые < газовые < гибридные < электромобили.

Исходные данные по признакам «марка» включают 54 уникальных значения, «трансмиссия» – 4, «тип кузова» – 11, «привод» – 3, «тип двигателя» – 5, параллельные данные отсутствуют. Вид распределения стоимости от возраста, пробега и мощности (рис. 1) позволяет сделать вывод о возможности преобразования этих параметров с целью приведения целевой функции к линейному виду.

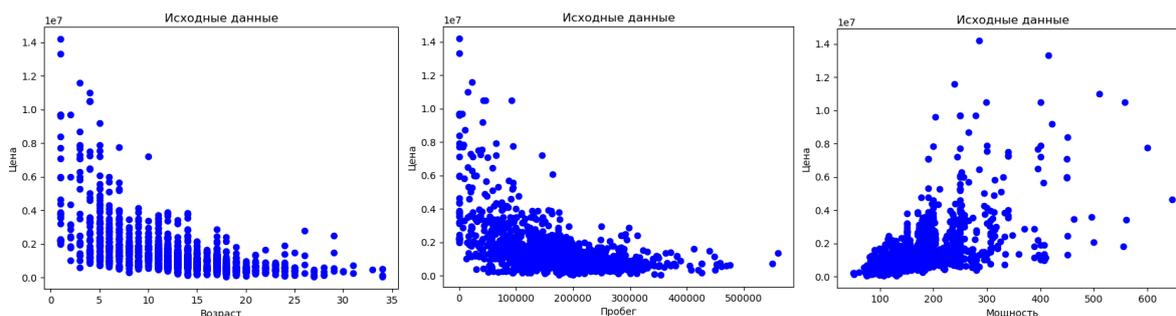


Рис. 1 – Вид распределения стоимости б/у машин

Признаки «возраст» и «пробег» представляют поведение функции (1):

$$y = -\ln(x) \tag{1}$$

Признак «возраст» нужно преобразовать к виду (2) из-за наличия нулевых значений и соответствующей им ошибки при вычислении логарифма.

$$y = -\ln(x + 1) \tag{2}$$

Признак «мощность» не нуждается в преобразовании.

Необходимо минимизировать функцию потерь, которую будем рассчитывать по методу наименьших квадратов (OLS), предполагая линейную зависимость между предсказываемым и наблюдаемым значениями.

Признаки «возраст» и «пробег» обладают некоторой визуальной схожестью, что дает возможность исключения одного из них, но в процессе анализа данных было принято решение перемножить их для формирования новой переменной. На следующем этапе непрерывные признаки, соответствующие произведению возраста и пробега, а также мощность, были стандартизированы. При кодировании категориальных признаков (все остальные) было проведено три эксперимента: One-Hot Encoding, Binary Encoding, Frequency Encoding, код обучения для линейной модели представлен на рис. 2.

```

from sklearn.linear_model import LinearRegression

# Линейная регрессия
model_linear = LinearRegression()
model_linear.fit(x, y)

# R^2 для линейной модели
r2_linear = model_linear.score(x, y)
print(f'Линейная модель R²: {r2_linear}')

```

Рис. 2 – Код обучения

Из-за большого количества уникальных значений марок автомобилей One-Hot Encoding привёл к разрастанию числа признаков до 74, в то время как Binary Encoding всего до 20. По результатам исследования значимости признаков было выделено 4 наиболее важных признака: «возраст*пробег», «мощность», «марка» и «двигатель».

Для каждого эксперимента были получены матрицы планирования, уровней и результатов, а также системы нормальных уравнений для трёх кодирований и двух наборов признаков (все и только 4 наиболее важных). Автоматический расчёт параметров модели был реализован с помощью Python и библиотек sklearn и statsmodels [2].

Коэффициенты детерминации R^2 , показывающие, насколько хорошо построенная модель объясняет фактические данные, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка точности моделей

Модель	Число признаков	R^2
Модель с One-Hot Encoding	все признаки (74 параметра)	0.753
Модель с One-Hot Encoding	4 признака (59 параметров)	0.735
Модель с Binary Encoding	все признаки (20 параметров)	0.677

Модель с Binary Encoding	4 признака (11 параметров)	0.667
Модель с Frequency Encoding	все признаки (7 параметров)	0.658
Модель с Frequency Encoding	4 признака (4 параметра)	0.655

Примеры полученных коэффициентов модели приведены на рис. 3.

Модель с One-Hot Encoding показала хороший результат $R^2 > 0.75$, значит выбранные подходы к линейаризации параметров можно считать успешными, а построенная модель обладает неплохими способностями предсказания. К недостаткам модели можно отнести большое количество признаков. Модель с Binary Encoding показала максимальный результат $R^2 = 0.677$ при двадцати параметрах и $R^2 = 0.667$ при одиннадцати параметрах. Наименее результативной оказалась модель с Frequency Encoding.

```

=====
                        OLS Regression Results
=====
Dep. Variable:          y      R-squared:                0.655
Model:                 OLS    Adj. R-squared:           0.654
Method:                Least Squares  F-statistic:              682.1
Date:                  Mon, 04 Nov 2024  Prob (F-statistic):       0.00
Time:                  18:00:05      Log-Likelihood:           -21763.
No. Observations:     1442      AIC:                      4.354e+04
Df Residuals:         1437      BIC:                      4.356e+04
Df Model:              4
Covariance Type:      nonrobust
=====

```

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	2.011e+06	8.06e+04	24.943	0.000	1.85e+06	2.17e+06
x1	-7.845e+05	2.35e+04	-33.348	0.000	-8.31e+05	-7.38e+05
x2	6.597e+05	2.39e+04	27.567	0.000	6.13e+05	7.07e+05
x3	2.012e+06	8.2e+05	2.454	0.014	4.04e+05	3.62e+06
x4	-9.138e+05	9.28e+04	-9.843	0.000	-1.1e+06	-7.32e+05

```

=====
Omnibus:                963.380    Durbin-Watson:           1.854
Prob(Omnibus):          0.000    Jarque-Bera (JB):        25978.149
Skew:                   2.695    Prob(JB):                 0.00
Kurtosis:               23.083    Cond. No.                 43.9
=====

```

Рис. 3 – Результаты модели с Frequency Encoding при 4 признаках

Точность модели можно повысить, если включить в нее больше признаков, например, количество владельцев или внешнее состояние (наличие вмятин, перекрашена машина или нет и др.).

Множественная линейная регрессия позволяет не только делать точечные прогнозы, но и строить интервалы доверия для этих прогнозов, что полезно для оценки неопределённости. Несмотря на эти преимущества, важно помнить, что модель имеет свои ограничения, такие как предположение о линейности отношений между переменными,

отсутствие учёта взаимодействий и возможное переобучение на малых выборках. Поэтому при выборе модели всегда следует учитывать специфику задачи и данные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков, А. И. Экономико-математические методы и модели: экономико-математические методы и модели: учебник/А. И. Новиков. – 6-е изд. – Москва: Дашков и К°, 2024. – 532 с.
2. Руководство пользователя библиотеки машинного обучения с открытым исходным кодом. – URL: <https://scikit-learn.org/stable/> (дата обращения: 25.10.2024)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА КОММУНИКАЦИИ С КЛИЕНТАМИ

Колотухина С.А., Лазарева Т.И.

Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
kolotuhina35@gmail.com, tatylaz@mail.ru

***Аннотация.** Статья посвящена анализу коммуникации с клиентами при помощи искусственного интеллекта. Основная задача состоит в определении того, как речевая аналитика помогает выявлять проблемные или негативные моменты разговоров менеджеров с клиентами, что помогает компаниям более тщательно контролировать дальнейшую работу. Также рассматриваются уже готовые решения, используемые в различных сферах и то, как они влияют на продажи компаний.*

Ключевые слова: искусственный интеллект; речевая аналитика; современный бизнес; коммуникация с клиентами; автоматизация задач.

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO ANALYZE THE QUALITY OF COMMUNICATION WITH CUSTOMERS

Kolotukhina S.A., Lazareva T.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)
kolotuhina35@gmail.com, tatylaz@mail.ru

***Abstract.** The article is devoted to the analysis of communication with clients using artificial intelligence. The main task is to determine how speech analytics helps to identify problematic or negative aspects of managers' conversations with clients, which helps companies to more carefully control further work. It also considers ready-made solutions used in various areas and how they affect company sales.*

Keywords: artificial intelligence; speech analytics; modern business; communication with clients; task automation.

В современном бизнесе эффективность взаимодействия менеджеров и клиентов имеет первостепенное значение. Эффективная коммуникация не только помогает устанавливать прочные отношения с клиентами, но и напрямую влияет на уровень удовлетворенности и лояльности. Однако, несмотря на все усилия сотрудников, неизбежно возникают ситуации, когда клиенты выражают недовольство по поводу предоставляемых услуг или продуктов. В таких случаях важно своевременно выявлять негативные стороны взаимодействия, чтобы скорректировать дальнейшие действия менеджеров и повысить качество обслуживания.

Речевая аналитика, также известная как обработка естественного языка или анализ речи, представляет собой область искусственного интеллекта, которая фокусируется на обработке и анализе человеческого языка. Она позволяет компьютерам понимать, интерпретировать и анализировать текст и речь, извлекая ценную информацию и знания.

Речевая аналитика направлена на преодоление барьера между человеком и машиной, позволяя компьютерам «понимать» человеческий язык. Это открывает новые возможности для:

- Автоматизации задач: речевая аналитика используется для автоматизации многих рутинных задач, таких как анализ текстов, классификация документов, переводы, анализ настроений и т.д.
- Улучшения взаимодействия: позволяет создавать более интерактивные и персонализированные сервисы, такие как виртуальные помощники, чат-боты, системы распознавания речи.
- Получения информации: анализируя большие объемы текстовых данных, можно получить ценную информацию о поведении пользователей, тенденциях, предпочтениях и т.д.

Речевая аналитика стремительно развивается и становится все более мощным инструментом, позволяющим компьютерам «понимать» человеческий язык. Она уже оказывает существенное влияние на различные сферы жизни и, вероятно, будет играть еще более важную роль в будущем.

Различные компании уже сейчас используют речевую аналитику для повышения качества своей работы. Так, например, в 2021 году компания «Мегафон» запустила решение «Разговор на повышенных тонах». Система, обученная на 30 тыс. разговоров общей длительностью 750 часов, умеет считывать человеческие эмоции. Причем ориентируется она не на громкость речи, которая не всегда сигнализирует о конфликтной ситуации, а на изменение тональности разговора. Алгоритмы машинного обучения оценивают колебания звуковой волны с помощью спектрального анализа звуковых файлов. Менеджер контакт-

центра с помощью такого сервиса может прослушать выбранные записи и оценить работу оператора [2].

В небольших компаниях руководство часто прослушивает записи, и сервис существенно экономит время, затрачиваемое на это: в фокус попадают только разговоры, требующие внимания. Если клиент подал жалобу на сотрудника, не обязательно прослушивать весь разговор — можно сосредоточиться на конфликтном участке [2].

Использование речевой аналитики позволяет финансовым организациям повысить качество обслуживания. Банк «Точка» активно применяет инструменты речевой аналитики для продажи полного набора банковских услуг. Помимо этого, использует для анализа разговоров новых сотрудников, которые проходят период адаптации – отслеживают так называемые факап-фразы. Анализируют, насколько часто упоминаются в диалогах ключевые слова, связанные с конкурентами, что помогает банку определить их сильные и слабые стороны. На основании полученных данных, с менеджерами обсуждаются их проблемные места и проводится дополнительное обучение – как изменить темп речи и количество монологов. Все это сильно влияет на продажи. Речевая аналитика помогла банку перейти на новый уровень работы с обращениями клиентов, существенно увеличить скорость обучения сотрудников, а также были успешно оптимизированы скрипты операторов, работающих удаленно [1].

Следует отметить, что речевая аналитика активно развивается и все больше компаний используют ее для улучшения своей работы.

ООО «ЭВМ-Информ» является партнером (франчайзи) в области автоматизации на платформе 1С. Целью компании является помощь компаниям быстро и эффективно достигать цели, облегчить труд сотрудникам клиента, автоматизировать и упорядочить бизнес-процессы с помощью передовых информационных технологий [3]. Для повышения качества коммуникации с клиентами было принято решение использовать речевой анализ и в данной компании.

В настоящее время компания имеет несколько негативных отзывов на интернет-ресурсах. Для предотвращения подобных инцидентов и выявления проблем до написания негативных отзывов возникает необходимость в использовании искусственного интеллекта для анализа разговоров менеджеров с клиентами. Своевременно выявленные и исправленные недостатки позволяют существенно снизить риск потери клиентов, повысить уровень лояльности клиентов и, как следствие, улучшить финансовые показатели компании.

В соответствии с современными требованиями к качеству обслуживания клиентов и повышению уровня сервиса обслуживания клиентов необходимость автоматизации анализа телефонных разговоров становится все более актуальной. Клиенты ожидают

индивидуального подхода к каждому обращению, и для этого необходим эффективный инструмент выявления проблемных ситуаций в общении. Это поможет менеджерам эффективнее управлять взаимоотношениями с клиентами и оперативно реагировать на негативные моменты, избегая их повторения в будущем.

Назначение данного проекта заключается в автоматизации процесса анализа телефонных разговоров менеджеров с клиентами и использовании методов искусственного интеллекта для выявления негативных моментов в общении. Целью является улучшение обслуживания клиентов, предотвращение конфликтных ситуаций, повышение удовлетворенности клиентов и более персонализированный подход к работе с ними.

Функциональные требования для системы анализа телефонных разговоров менеджеров с клиентами:

1. Автоматическое распознавание речи

Система должна уметь автоматически распознавать и транскрибировать речь в текстовом формате с помощью API сервиса 1С:Распознавание речи.

2. Анализ тональности и эмоций

Система должна анализировать текстовые транскрипции на наличие негативной тональности (недовольства, агрессии и т.д.).

3. Выявление и маркировка негативных моментов

Система должна автоматически отмечать негативные моменты в диалогах, а также генерировать сводки по этим моментам.

4. Интерфейс для просмотра и анализа диалогов

Система должна предоставить понятный интерфейс для менеджеров для просмотра и анализа разговоров.

5. Отчеты и аналитика

Система должна предоставлять функции формирования отчетов и аналитических данных по работе менеджеров и общению с клиентами.

6. Уведомления

Система должна предоставлять возможность настраивать уведомления для менеджеров о выявлении негативных моментов.

7. Интеграция с CRM-системами

Обеспечение интеграции с существующими CRM-системами для автоматизации работы с клиентами на основе данных анализа.

В современных условиях рынка требуются новые подходы для поддержания высокой доли удовлетворенности и предотвращения оттока клиентов. Постоянный анализ разговоров менеджеров с клиентами посредством системы искусственного интеллекта позволит не

только отслеживать текущее состояние взаимодействий, но и формировать базы данных на основе реальных отзывов клиентов. В будущем можно ожидать дальнейшего развития речевой аналитики, что приведет к появлению еще более интеллектуальных систем и инновационных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Живая речь. Как ИИ помогает бизнесу извлекать ценность из записей разговоров [Электронный ресурс] <https://www.mango-office.ru/about/press/zhivaya-rech-kak-ii-pomogaet-biznesu-izvlekat-tsennost-iz-zapisey-razgovorov/>
2. Как искусственный интеллект распознает эмоции в речи [Электронный ресурс] <https://trends.rbc.ru/trends/industry/cmrm/616839f79a794712311bf8cf?from=copy>
3. ЭВМ-Информ [Электронный ресурс] <https://www.evminform.ru/>

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ НАЛИЧИЯ ШЛАКА НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА СИГНАЛА ВИБРОУСКОРЕНИЯ

Корнев А.В., Полещенко Д.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
korenev01@mail.ru, po-dima@yandex.ru

Аннотация. В данной работе рассмотрена проблема раннего распознавания шлака при разливке стали. Апробирован метод дискретного вейвлет-анализа сигнала виброускорения манипулятора защитной трубы машины непрерывного литья заготовок. Разработаны критерии отсечки шлака, эффективность работы которых составила 67 процентов.

Ключевые слова: проблема раннего распознавания шлака; вибрационный метод; дискретный вейвлет-анализ; критерии отсечки шлака.

DEVELOPMENT OF SLAG CRITERIA BASED ON DISCRETE WAVELET ANALYSIS OF VIBRATION ACCELERATION SIGNAL

Korenev A.V., Poleshenko D.A.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. This paper considers the problem of early slag detection in steel casting. The method of discrete wavelet analysis of the vibration acceleration signal of the manipulator arm of the protective tube of the continuous casting machine has been tested. The criteria of slag cutoff were developed, the efficiency of which amounted to 67 percent.

Keywords: the problem of early slag recognition; vibration method; discrete wavelet analysis; slag cutoff criteria.

Постановка задачи исследований

Одной из важных технологических операций при непрерывной разливке стали является процесс слива металла из сталеразливочного ковша. При его переливе важным и

сложным этапом служит определение момента начала поступления шлака в промежуточный ковш [1].

Решение данной проблемы очень важно, так как, во-первых, унос шлака из сталковша вызывает ухудшение качества стали. Во-вторых, другим следствием уноса шлака является сокращение срока службы промежуточного ковша. С другой стороны, преждевременное закрытие шибера создает ситуацию, когда вместе со шлаком большое количество годного металла бракуется.

Все это приводит к потерям металлургических предприятий.

В данной работе рассмотрен вибрационный метод контроля за процессом начала поступления шлака в промковш, так как он является наиболее информативным [2, 3]. Исследования проводились на сигналах, снятых с реального промышленного объекта. Акселерометры были установлены на манипулятор защитной трубы МНЛЗ.

Вибрация в объекте создается за счет удара стали по шиберу. Исходя из того, что плотность жидкой стали значительно отличается от плотности шлака, возникла гипотеза о том, что уровень сигнала вибрации должен изменяться при начале поступления шлака в промежуточный ковш. К таким же выводам пришли авторы в работах [4, 5]. Таким образом, целью исследований является разработка такого алгоритма обработки сигнала виброускорения, который позволит своевременно (при начале поступления шлака) обнаружить изменения его характера поведения.

Предлагаемый метод

В данной работе был рассмотрен метод на основе дискретного вейвлет-анализа сигнала вибрации.

ДВП сигнала x получают применением набора фильтров: высокочастотного g и низкочастотного h .

В результате получают детализирующие коэффициенты (после ВЧ-фильтра) и коэффициенты аппроксимации (после НЧ-фильтра) (см. формулы (1), (2)):

$$y_{high}[k] = \sum_n x[n]g[2k - n], \quad (1)$$

$$y_{low}[k] = \sum_n x[n]h[2k - n], \quad (2)$$

где $x[n]$ - входной сигнал, $y_{low}[k]$ - выход после НЧ-фильтра, $y_{high}[k]$ - выход после ВЧ-фильтра.

С использованием функции койфлета были построены огибающие коэффициентов аппроксимации (ОКА) и детализации (ОКД). Для этого были проанализированы имеющиеся данные 15 разливок, из них были выделены отрезки с момента отключения системы автоматического регулирования положения шибера до отсечки потока оператором, то есть прекращения разливки (см. рис. 1).

Для проведения сравнительного анализа, подобные кривые были построены с использованием прочих функций вейвлет-преобразования (асимметричный вейвлет и Добеши). Анализ показал, что изменение применяемой функции вейвлет-преобразования не дает существенного изменения в характере получаемого на выходе результата, поэтому далее было принято решение проводить исследование с использованием койфлета.

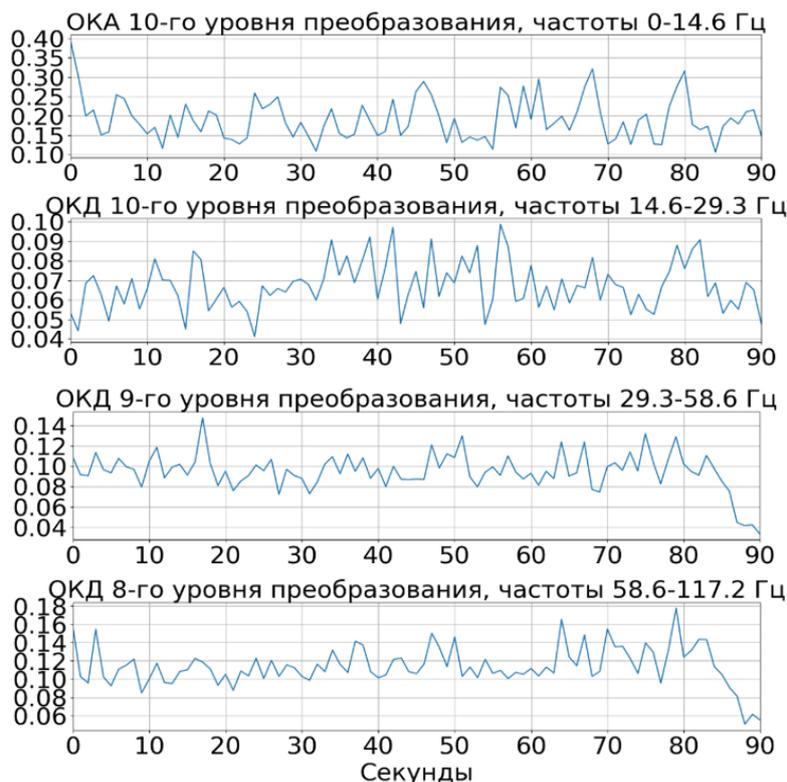


Рис. 1 – Кривые ОКА и ОКД на данных одной из разливок, полученные с использованием койфлета

Разработка критериев отсечки шлака

В ходе анализа графиков, получаемых на различных разливах, были сформированы эмпирические критерии, позволяющие идентифицировать ситуацию начала истечения шлака из стальной ванны.

Для этого, в качестве базового значения было выбрано среднее значение сигнала. Рассматриваемая частотная область выбрана в диапазоне 0-117 Гц, при этом бралось различное (8 и 9) количество ступеней разложения.

Кроме того, для уменьшения количества ложных срабатываний было решено анализировать сигнал вибрации совместно с данными о весе плавки. Для этого был введен коэффициент массы, который был предложен в работе [6], вычисляемый по формуле (3):

$$r = \frac{g+z}{m} \quad (3)$$

где g – некоторая эмпирически определяемая константа, равная трем; z – коэффициент приращения, равный 0.002.

Критерии выглядят следующим образом.

Критерий 1: если величина ОКД восьмого уровня преобразования снизилось более, чем на 40% относительно среднего за все время наблюдения, то считаем, что пошел шлак.

Критерий 2: если величина ОКД девятого уровня преобразования снизилось более, чем на 50% относительно среднего за все время наблюдения при условии, что коэффициент массы больше 0.21, то считаем, что пошел шлак.

Полученные на данных всех разливок результаты были сведены в таблицу с целью обобщающего анализа

Таблица 1 – Результаты срабатывания критериев отсечки шлака на основе анализа коэффициентов детализации вейвлет-преобразования

Дата и номер разливки	Срабатывание критерия, такт		Отсечка шлака оператором, такт	Отклонение по критерию, такт	
	1	2		1	2
23.03.17_1	-	605	614	-	9
23.03.17_2	749	749	751	2	2
23.03.17_3	665	-	668	3	-
12.05.17_1	-	-	880	-	-
12.05.17_3	1026	1025	1029	3	4
12.05.17_4	1223	-	1224	1	-
12.05.17_5	1088	1086	1090	2	4
03.08.17_1	-	-	817	-	-
03.08.17_2	510	509	548	38	39
03.08.17_3	-	-	984	-	-
03.08.17_4	533	-	565	32	-
20.09.17_1	674	-	679	5	-
20.09.17_2	-	-	765	-	-
20.09.17_3	-	829	837	-	8
20.09.17_4	-	-	761	-	-

Из представленных данных наглядно видно, что полученные критерии позволили зафиксировать начало истечения шлака в 67 процентах случаев.

Заключение

В данной работе было проведено исследование сигналов виброускорения для решения задачи раннего распознавания шлака с помощью дискретного вейвлет-анализа совместно с данными о весе плавки, на основании которых были разработаны критерии отсечки шлака, эффективность которых составила порядка 67 процентов.

Это демонстрирует работоспособность данного метода, и в перспективе дальнейшие исследования позволят увеличить его эффективность. Таким образом, станет возможным его апробация в реальных промышленных условиях, что и является для авторов целью будущей работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kapusuz H., Güvenç M. A., MISTIKOĞLU S. A review study on ladle slag detection technologies in continuous casting process //International Advanced Researches and Engineering Journal. – 2019. – Т. 3. – №. 3. – С. 144-149.
2. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А. О разработке и промышленной апробации системы отсечки шлака при разливке стали // Известия высших учебных заведений. Черная Metallургия. – 2019. – Т. 62. – №. 5. – С. 353-359.
3. Tan D.P., Ji S.M., Li P.Y., Pan X.H. Development of vibration style ladle slag detection methods and the key technologies // Science China.Technological Sciences. 2010. Vol. 53. №9. P. 2378 – 2387.
4. Семенов М.В., Красильников С.С., Швидченко Д.В., Пишнограев Р.С. Вибродетектирование шлака при сливе стали из стальной ковша в промежуточный ковш // Автоматизированные технологии и производства. – 2015. – №. 2. – С. 40-42.
5. Tan D.P., Li P.Y., Ji Y.X., Wen D.H., Li C. SA-ANN-based slag carry-over detection method and the embedded WME platform // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2012. – Т. 60. – №. 10. – P. 4702-4713.
6. Полещенко Д. А., Коренев А. В., Коврижных Ю. А. Разработка критериев для раннего распознавания шлака при разливке стали // Metallург. – 2024. – № 7. – С. 22-27.

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В СИСТЕМЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗА С ПОДАВЛЕНИЕМ КОЛЕБАНИЙ

Косарев И.В., Молодых А.В.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
309516, Белгородская область, г. Старый Оскол, м-н Макаренко, 42; тел.: (4725) 45-12-22
vanyusha-kosarev@inbox.ru, young_al@mail.ru

Аннотация. Выполнен анализ системы гашения маятниковых колебаний груза во время передвижения тележки промышленного крана с применением модального регулятора и фильтра Калмана. Представлена модель перемещения груза, построенная в пространстве состояний, рассчитаны параметры регулятора и наблюдателя. Анализ результатов моделирования показал возможность практического применения предлагаемой системы.

Ключевые слова: уравнение Лагранжа; пространство координат состояний; маятник; фильтр Калмана; уравнение Риккати; наблюдатель; оценка координат состояния.

APPLICATION OF THE KALMAN FILTER IN A LOAD TRANSFER SYSTEM WITH OSCILLATION SUPPRESSION

Kosarev I.V., Molodykh A.V.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The analysis of the system damping the pendulum oscillations of the load during the movement of an industrial crane truck using a modal regulator and a Kalman filter is performed. A model of cargo movement constructed in the state space is presented, the parameters of the regulator and the observer are calculated. The analysis of the simulation results showed the possibility of practical application of the proposed system.

Keywords: Lagrange equation; state coordinate space; pendulum; Kalman filter; Riccati equation; observer; estimation of state coordinates.

В сфере грузоподъемной техники является актуальной проблема гашения маятниковых колебаний груза при перемещении его промышленным краном. При

приложении силы к механизму передвижения крана (тележки) возникают колебания подвешенного на канате груза, амплитуда которых зависит от ускорения тележки и длины подвеса каната. Наличие остаточных колебаний груза в конце переходного процесса осложняет процесс управления краном и затрудняет точную установку грузов.

Для синтеза регулятора системы перемещения груза, ограничивающей амплитуду колебаний, представим модель тележки крана в математическом виде, воспользовавшись системой уравнений Лагранжа второго рода:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \frac{dL}{dx_c} - \frac{dL}{dx_c} = f_T \\ \frac{d}{dt} \frac{dL}{d\dot{\alpha}} - \frac{dL}{d\alpha} = 0 \end{cases},$$

где x_c – позиция тележки;

α – угол поворота маятника;

\dot{x}_c – скорость тележки;

$\dot{\alpha}$ – угловая скорость маятника;

f_T – сила, которая воздействует на тележку.

Исследуемый объект тележка – груз представлен в форме пространства координат состояния:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax(t) + Bu(t) \\ y = Cx(t) + Du(t) \end{cases}.$$

Матрицы A , B , C и D имеют вид [1]:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{gm}{M} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{g(M+m)}{Ml} & 0 & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{M} \\ -\frac{1}{Ml} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Чтобы влиять на все состояния по отдельности, необходимо найти матрицу, благодаря которой будет обеспечиваться устойчивый процесс управления. Воспользуемся модальным регулятором, т. к. с его помощью есть возможность обеспечивать для замкнутой системы требуемое расположение полюсов (корней).

Ввод регулятора K в систему преобразует управляющее воздействие к виду $u = -Kx$. Подставив управляющее воздействие в уравнение состояния, получим: $\dot{x}_c = (A - BK)x$ [2]. Таким образом, регулятор K будет напрямую влиять на расположение полюсов матрицы состояния и тем самым влиять на поведение системы.

Синтез замкнутой системы с заданным распределением полюсов не представляет трудности, если все переменные состояния объекта измеримы [3]. Но в большинстве случаев доступны измерению лишь некоторые составляющие вектора состояния. Рассмотрим применение фильтра Калмана, оценивающего все составляющие вектора состояния объекта при наличии шумовых помех. Допустим, что на систему тележка-груз действует помеха по внешнему возмущению f и помеха по измерительному каналу ξ . Тогда объект представляется системой уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax(t) + Bu(t) + f \\ z = Cx(t) + Du(t) + \xi \end{cases} \quad (2)$$

Фильтр Калмана решает уравнения для оценки состояния и ковариации ошибки. Он использует этапы экстраполяции и коррекции, выраженные через дифференциальные уравнения. В нем предсказание состояния основывается на модели, заданной матрицами A и B системы, а также шума процесса $f(t)$. Коррекция предсказанного состояния $\hat{x}(t)$ происходит за счет обновления, основанного на измерении $z(t)$. Таким образом, уравнение для оценки имеет вид:

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(z - C\hat{x}(t)), \quad (3)$$

где: L – матрица усиления фильтра Калмана.

На этапе экстраполяции рассчитывается прогноз состояния и его ковариация на следующем временном шаге. Эти уравнения описывают изменение предсказанных значений по мере времени. Фильтр оценивает математическое ожидание состояния $\hat{x}(t)$. Ковариация ошибки $P(t)$ представляет собой математическое ожидание M квадрата ошибки оценки:

$$P(t) = M[(x(t) - \hat{x}(t)) \cdot (x(t) - \hat{x}(t))^T]. \quad (4)$$

Рассмотрим, как изменяется $P(t)$ со временем. Обозначим ошибку оценки состояния $e = x(t) - \hat{x}(t)$. Тогда, подставив (2) для $x(t)$ и (3) для $\hat{x}(t)$, получим следующее уравнение:

$$\begin{aligned} \dot{e} = \dot{x}(t) - \dot{\hat{x}}(t) &= (Ax(t) + Bu(t) + f(t)) - (A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(z - C\hat{x}(t))) = \\ &= (A - LC)e(t) + f(t) - L\xi(t) \end{aligned} \quad (5)$$

Дифференцируем (4) по времени. Используя правило Лейбница, разложим производную от (4):

$$\dot{P} = M[\dot{e}(t)e(t)^T + e(t)\dot{e}(t)^T]. \quad (6)$$

Подставим из (5) значение $\dot{e}(t)$ в выражение (6). Заметим, что $M[f(t)e(t)^T] = 0$, $M[e(t)f(t)^T] = 0$, $M[e(t)\xi(t)^T] = 0$ и $M[\xi(t)e(t)^T] = 0$, так как помехи f и ξ никак не коррелируют с ошибкой e . Так как $f(t)$ и $\xi(t)$ – независимые шумы процесса, то добавляется член $M[f(t)f(t)^T] = Q$ – матрица ковариации шума процесса и член $M[\xi(t)\xi(t)^T] = R$ – матрица ковариации шума измерения:

$$\dot{P} = (A - LC)P + P(A - LC)^T + Q + LRL^T. \quad (7)$$

На этапе коррекции обновляется оценка состояния и ковариация ошибки с учетом нового измерения $z(t)$, поступающего в момент времени t . Матрица усиления Калмана L контролирует, как сильно измерение влияет на коррекцию предсказания:

$$L = PC^T R^{-1}.$$

После подстановки значения L в (7) получаем следующее выражение:

$$\dot{P} = AP + PA^T + Q - PC^T R^{-1} CP,$$

где P – матрица ковариации ошибки оценки состояния;

Сделав замену L в уравнении (7), получаем выражение для ковариации ошибки, где каждый новый сигнал измерения увеличивает точность оценки.

Уравнение для P , называемое уравнением Риккати с учётом шума, учитывает, как динамику объекта, так и поступающие измерения:

$$\begin{cases} AP + PA^T + Q - PC^T R^{-1} CP = 0 \\ L = R^{-1} C^T P \end{cases}$$

В MATLAB / Simulink была разработана модель системы перемещения груза при воздействии на нее внешнего возмущения и с помехой в измерительном канале (рис. 1). В качестве исходных данных были приняты параметры промышленного мостового крана [1].

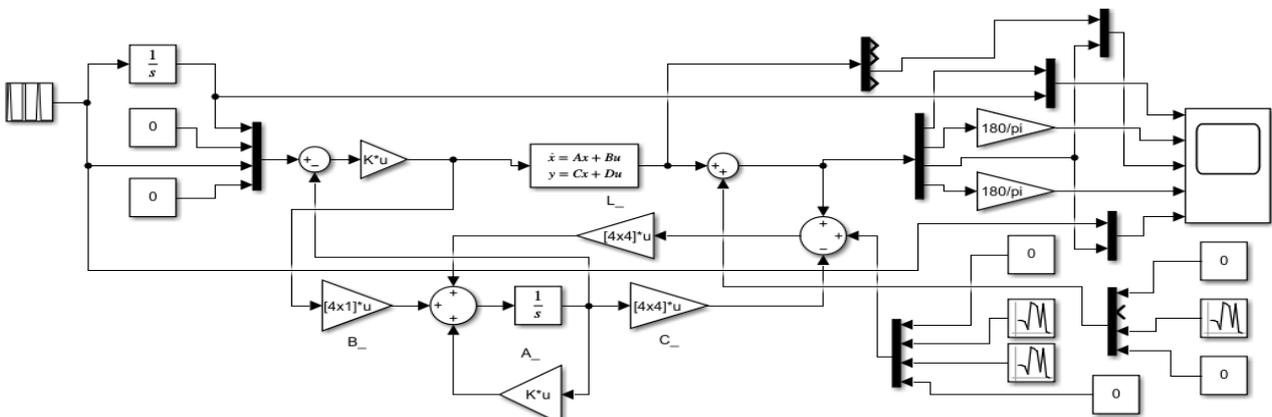


Рис. 1 – Модель объекта с модальным регулятором и фильтром Калмана

В результате моделирования были получены графики положения тележки крана, ее скорости, угла отклонения груза от вертикали и его угловой скорости (рис. 2).

Полученные результаты показали, что рассмотренная система управления движением механизма перемещения груза при воздействии внешних возмущений и помех в измерительном канале имеет достаточно хорошие показатели, соответствующие требованиям реальных производственных объектов.

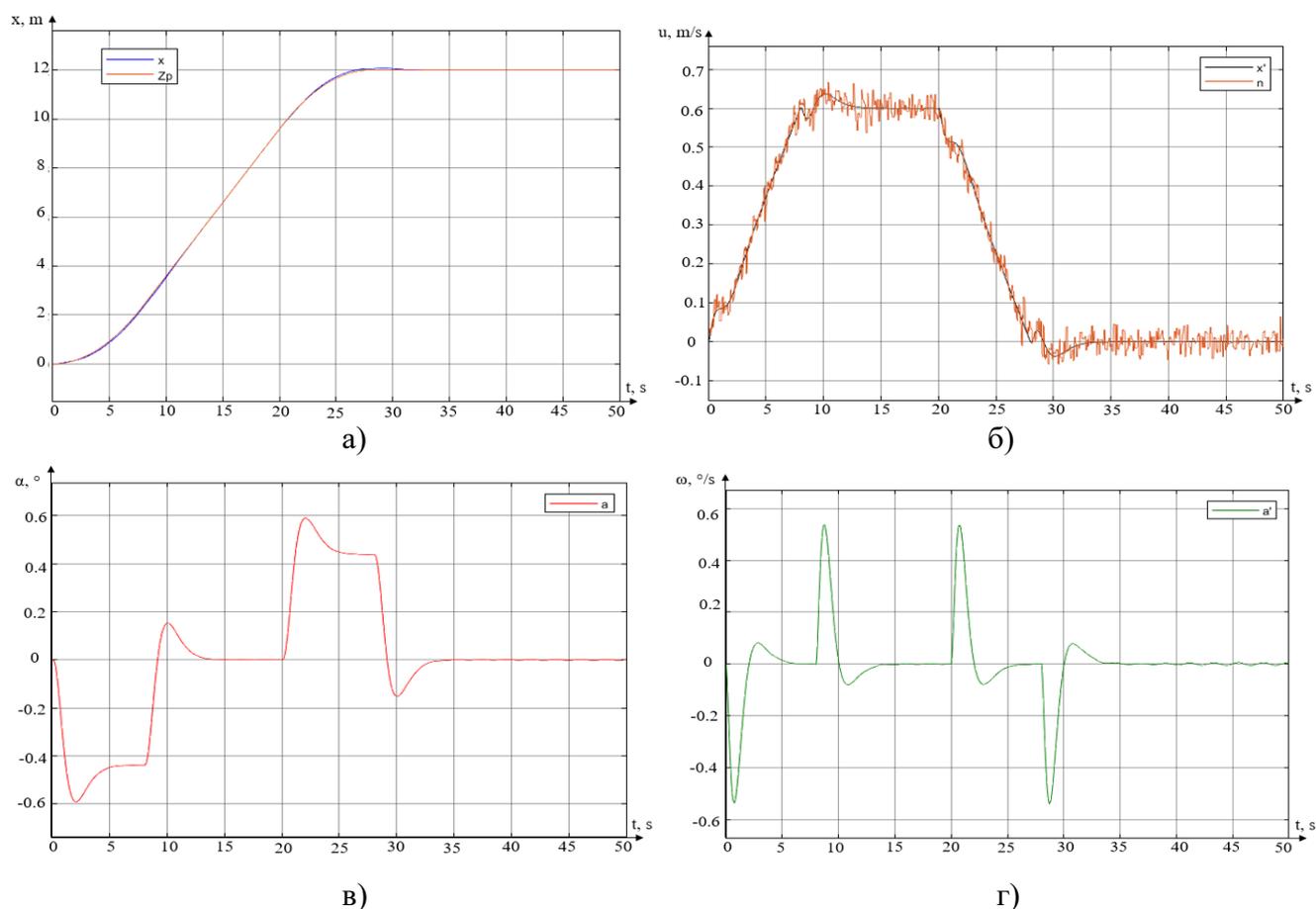


Рис. 2 - Результаты моделирования системы: а) положение тележки с грузом; б) линейная скорость тележки; в) угол отклонения груза от вертикали; г) угловая скорость груза

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Косарев И.В., Молодых А.В. Моделирование системы перемещения груза с подавлением колебаний // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. Т I. Старый Оскол, 2024. С. 421-425.
2. Richard C. Dorf, Robert H. Bishop. Modern Control Systems (13th Edition) – Pearson education international, 2008.
3. Кузовков Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: «Машиностроение», 1976. 184 с.

О ЗАДАЧЕ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ИЗДЕЛИЙ САНФАЯНСА, ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ.

Крючков Н.В., Полещенко Д.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
po-dima@yandex.ru*

Аннотация. *Статья посвящена исследованию в области анализа и выявления внешних дефектов на поверхности санитарного фаянсового изделия при помощи нейронной сети.*

Ключевые слова: Изготовка санфансового изделия; нейронная сеть с использованием архитектуры автоэнкодер; обучение нейронной сети; выявление поверхностных дефектов.

DETECTING DEFECTS IN SANITARY PRODUCTS BY USING MACHINE VISION

Kryuchkov N.V., Poleshchenko D.A.

*Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)
309516, Russia, Stary Oskol, microdistrict named after Makarenko, 42
po-dima@yandex.ru*

Abstract. *The article is devoted to research in the field of analysis and detection of external defects on the surface of plumbing using a neural network.*

Keywords: Production of sanitary products; neural network using autoencoder architecture; training neural networks; detection of surface defects.

Сегодня брак на производстве является серьезным тормозом развития предприятий. Процент брака в России по разным оценкам составляет от 5–10 до 40–50 % в зависимости от отраслевой принадлежности предприятий, применяемого оборудования и технологий. Большой процент брака снижает производительность труда, которая в России и так невелика, поскольку бракованная продукция отвлекает дополнительные ресурсы на устранение дефектов, либо идет в лом как не подлежащая исправлению. Получается, что

все вложенные в ее производство деньги оказались пустыми затратами.

К слову сказать, производственный брак – это изделия, детали, услуги, узлы, полуфабрикаты, имеющие качество, не соответствующее техническим условиям или стандартам. Их нельзя применять по назначению или можно эксплуатировать только после исправления дефектов.

Отметим, что в каждой отрасли промышленности свои виды брака. Например, в нефтепереработке и нефтехимии браком в производстве в основном считаются такие продукция или полуфабрикаты, которые не соответствуют по качеству установленным стандартам или техническим условиям и требуют для своего исправления дополнительной (повторной) переработки. На предприятиях черной и цветной металлургии браком считается продукция, технические показатели которой (качество, геометрические размеры, форма и пр.) не соответствуют показателям, установленным стандартом или техническим условиям, и которая не может быть использована по своему прямому назначению, либо принята по другим стандартам или техническим условиям (по химсоставу, механическим свойствам, размеру, форме, весу, отделке, допускам и т. д.), либо может быть использована лишь после исправления.

Классификация брака устанавливает следующие его виды:

- Исправимый. Изделия в этом случае можно использовать после устранения недостатков.
- Окончательный. Изделие исправить нельзя или устранение дефектов экономически нецелесообразно.
- Внутренний. Такой производственный брак выявляется до отправки продукции на реализацию.
- Внешний. Этот производственный брак обнаруживается потребителями.

В большинстве случаев даже малейший брак на предприятии может спровоцировать потерю сырья и негативно сказаться на общем финансовом состоянии организации. Такой брак может привести и к другим более серьезным проблемам, связанным с ростом репутационных рисков и потерей имиджа предприятия.

В данной статье рассматривается проблема производства и выпуска бракованной готовой продукции.

Описание объекта

Керамические унитазы, технология производства. Керамика – это наиболее распространенный материал для изготовления унитаза. Обычно используется фаянс или фарфор. Мы рассматриваем технологию производства фаянсового изделия.

На первом этапе готовят смесь из глины, каолина, кварца, пегматита. Для

дробления исходного сырья используют алумитовые шары. Дробление осуществляется в несколько этапов, на каждом из которых сырье дробится всё мельче и мельче. Пока не превратится в муку. Также снова в производство идут и бракованные изделия.

Затем нужное количество сырья, необходимого для изготовления унитаза, автоматически отсыпают на электронных весах с дозатором. Все компоненты замешивают в определенной пропорции, отстаивают и просеивают через вибросито. Так получается шликер – готовая смесь для производства керамики. Прежде чем поступить в литейный цех пробы шликера проверяют на плавкость, твердость, расширение при нагреве, цвет, вязкость, время высыхания и т.п.

Автоматически шликер перекачивается в литейные машины. Смесь заливается в гипсовую форму и прессуется под огромным давлением. Затем изделие затирают мягкой влажной губкой, чтобы убрать наплывы, острые края и прочие недочеты.

Схема механизированного станда для литья унитазов приведена на рисунке 1.

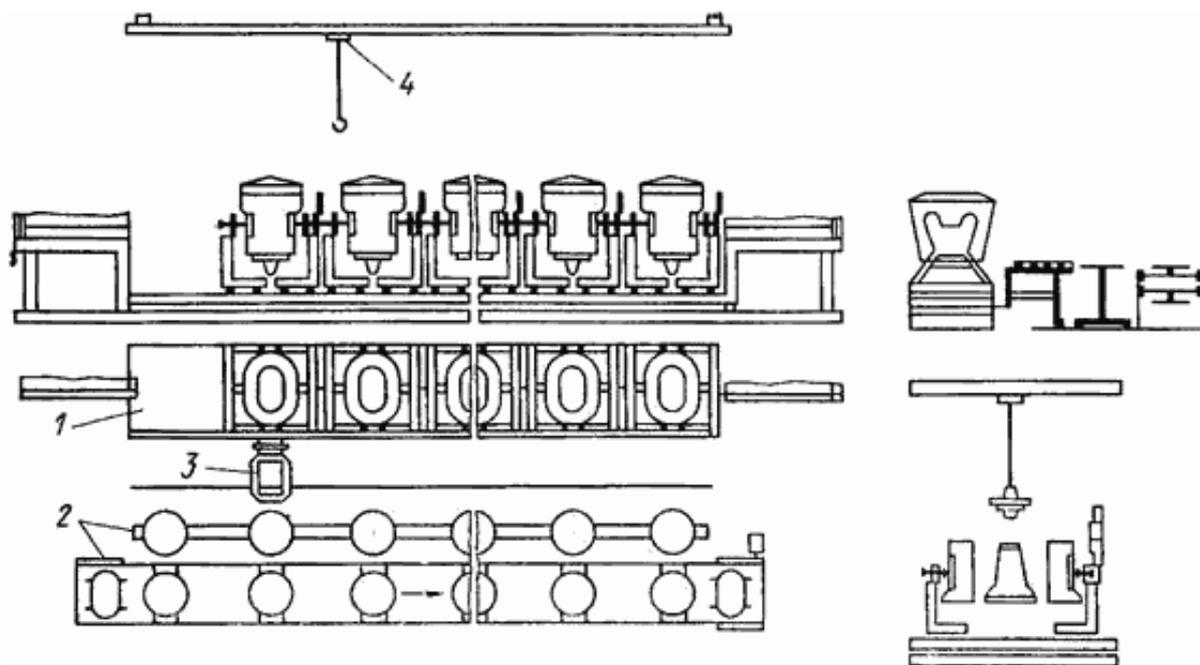


Рис. 1 – Схема механизированного станда для литья унитаз

Унитазы оставляют для высыхания на 10 – 16 часов. Чтобы это происходило равномерно, необходимо поддерживать влажность 40 – 60 % и температуру 30 °С. А для того, чтобы не пересушить изделие или наоборот не отправить сырое на следующий этап производства, на каждой партии проставляют дату и время выхода из литейного цеха.

После сушки происходит первый контроль качества: керосином выявляют скрытые трещины. При их отсутствии изделие обрабатывают жёсткой губкой, обдувают воздухом под давлением и отправляют на глазуровку.

Глазурь – это стекловидное покрытие, в основном состоящее из каолина, кварца, полевого шпата. Она повышает устойчивость к влаге, придает поверхности гладкость. Может быть прозрачная и непрозрачная, белая или цветная, матовая или глянцевая. При производстве сантехнических изделий используют тугоплавкую глазурь.

Унитаз покрывает глазурью робот. Происходит это довольно быстро, например, на покрытие бачка унитаза уходит 20 – 30 секунд. Но робот не может добраться до узких и труднодоступных мест. Поэтому внутреннюю часть унитаза покрывают глазурью вручную. И затем, чтобы лишняя глазурь стекла, унитаз несколько раз поворачивают. Именно качественное покрытие глазурью позволяет нивелировать многие недостатки фаянсовых унитазов (по сравнению с фарфоровыми). Конечно, это удорожает изделие.

После глазури изделие украшают с помощью специальных красок, рельефного декора или картинок.

Завершающий этап производства – обжиг изделий. Унитазы помещают в печь на 24 часа при температуре 1100-1200 °С. Именно после печи и появляется глянцевый блеск.

Описание существующей АСУ ТП

После завершающей стадии изготовления продукта, а именно обжига в печи изделия получает свой финальный, готовый вид. Далее унитазы остывают и переключаются на конвейерную ленту, которая перемещает унитазы в зону осмотра на наличие брака и распределения изделия по классу качества. Выявление наличия брака осуществляется операторами вручную, что в следствии человеческого фактора порой приводит к пропуску или неправильной классификации бракованного изделия.

Вывод

Решением данной проблемы станет применение машинного зрения. А именно обучение нейронной сети различать изделия по классу с наличием дефекта или без. При обучении нейронной сети, её архитектура была выбрана с использованием автоэнкодера. Так как на обучающей выборке у нас имеется достаточное количество изделий без брака и наоборот наблюдается существенная нехватка для обучения нейронной сети изделий с браком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. С.Хайкин. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд., испр. М., "Вильямс", 2006. 1104 с.
2. S.Haykin. Neural Networks and Learning Machines. 3rd Edition. Pearson, 2018.

3. А.А.Ежов, С.А.Шумский. Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе. М., МИФИ, 1998. 268 с. ISBN 5-7262-0252-X.
4. Д.А.Тархов. Нейронные сети. Модели и алгоритмы. М., Радиотехника, 2005. ISBN 5-88070-067-4.(Научная серия "Нейрокомпьютеры и их применение", ред. А.И.Галушкин. Кн.18.)
5. Л.Г.Комарцова, А.В.Максимов. Нейрокомпьютеры. М., Изд-во МГТУ им.Баумана, 2004.
6. А.И.Галушкин. Нейронные сети. Основы теории. М., Горячая линия - Телеком, 2017. 496 с.
7. Г.Э.Яхъяева. Основы теории нейронных сетей. . (Бесплатный дистанционный курс самостоятельного обучения.) Национальный открытый университет ИНТУИТ.
8. В.В.Круглов, М.И.Дли, Р.Ю.Голунов. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети. Физматлит, 2001. 224 с.
9. I.Goodfellow, Y.Bengio, A.Courville. Deep Learning. MIT Press, 2016. Перевод: Я.Гудфеллоу, И.Бенджио, А.Курвилль. Глубокое обучение. Пер. с англ. А.А.Слинкина. 2-е изд., испр. М., ДМК Пресс, 2018. 652 с.
10. К.В.Воронцов. Машинное обучение. Курс лекций.
11. Перевод: О.Жерон. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow. Концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем. Вильямс, 2018, 688 с.
12. Перевод: А.Мюллер, С.Гвидо. Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными. Вильямс, 2017, 480 с.
13. Перевод: Б.Любанович. Простой Python. Современный стиль программирования. Питер, 2019, 480 с.
14. И.М. Дремин, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло. Вейвлеты и их использование. Успехи физических наук, Май 2001, т.171, стр.5.
15. М.М.Дубовиков, А.В.Крянев, Н.В.Старченко. Размерность минимального покрытия и локальный анализ фрактальных временных рядов. Вестник РУДН. Серия Прикладная и компьютерная математика. 2004, Т.3, №1, с.30-44.

ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ: ОПТИМИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕКРЁСТКАХ

Курманова Д.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

***Аннотация.** Статья исследует проблемы, связанные с ростом автомобилизации и загруженностью улично-дорожных сетей. Рассматриваются вопросы оптимального регулирования движения, также анализируется влияние светофорного регулирования на эффективность проезда перекрёстков и предлагается комплексное решение проблемы.*

Ключевые слова: автомобилизация; светофорное регулирование; интенсивность движения; фазы светофора; транспортное средство; пропускная способность перекрестков.

EFFICIENT TRAFFIC FLOW MANAGEMENT: TRAFFIC OPTIMIZATION AT INTERSECTIONS

Kurmanova D.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article explores the problems associated with the growth of motorization and congestion of road networks. The issues of optimal traffic regulation are considered, the influence of traffic light regulation on the efficiency of crossing intersections is also analyzed and a comprehensive solution to the problem is proposed.*

Keywords: motorization; traffic light regulation; traffic intensity; traffic light phases; vehicle; crossing capacity.

Интенсивный рост количества автомобильного транспорта, особенно в городах, постоянно повышает актуальность мероприятий, направленных на снижение негативных явлений, вызванных автомобилизацией. Увеличение загрузки улично-дорожной сети снижает эффективность использования транспорта (увеличение времени задержек, количества остановок, расхода топлива, износа автомашин, разметки и дорожного полотна), повышает количество дорожно-транспортных происшествий и значительно ухудшает

экологическую обстановку (загрязнение воздушного бассейна, в том числе канцерогенными компонентами, увеличение шума)[1].

Проблема имеет комплексное решение, которое связано с оптимальным регулированием движения потоков автотранспорта на перекрёстках, а также с расширением дорог, увеличением количества полос движения, использованием объездных дорог и др.

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что постоянный рост загрузки улично-дорожной сети снижает эффективность использования транспортных средств из-за увеличения времени задержек, количества остановок, расхода топлива, износа автомашин, разметки и дорожного полотна, повышает количество дорожно-транспортных происшествий и значительно ухудшает экологическую обстановку [2].

Целью исследования является поведение единицы ТС при проезде перекрёстка и обоснование минимального промежутка времени для разрешающего сигнала светофора.

Плотность транспортного потока является пространственной характеристикой, определяющей степень стесненности движения на полосе дороги. Ее измеряют числом транспортных средств, приходящихся на 1 км протяженности дороги. Предельная плотность достигается при неподвижном состоянии колонны автомобилей, расположенных вплотную друг к другу на полосе. Для потока современных легковых автомобилей теоретически такое предельное значение составляет около 200 авт./км.

Пропускная способность перекрёстка зависит не только от его геометрии – ширины пересекаемой дороги, направления движения, расположение стоп-линии относительно начала пересечения, но и от длительности разрешающего сигнала светофора.

Рассмотрим поведение одного автомобиля, стоящего первым в очереди перед стоп-линией. При включении зелёного сигнала светофора он начинает движение по перекрёстку, которое содержит две фазы – фазу разгона (старт с места, набор скорости) и основную фазу (равномерное движение с разрешённой скоростью). Предполагается, что другие препятствия (сужение дороги, объезд места ремонтных работ и т.п.) на перекрёстке отсутствуют [3].

Основным уравнением транспортного потока является соотношение между скоростью движения V , интенсивностью q и плотностью потока ρ (1):

$$q = V \cdot \rho \quad (1)$$

Минимальное время работы зелёного сигнала светофора должно определяться длительностью как фазы разгона транспортного средства, так и основной фазой в любое время суток и при любых очередях. Цель – определить минимальную длительность зелёного сигнала светофора в цикле его работы [4]. При расчёте регулирования транспортных потоков на перекрёстках вектор состояния ТС можно задавать следующим образом (2):

$$S_{ТС} = (V, a, t, x) \quad (2)$$

Среднее значение расстояния принимаем равным 20 метрам, т.е. автомобиль для полного пересечения перекрёстка, при движении прямо или с поворотом влево, должен проехать 60 метров.

При проезде перекрёстка разгон транспортных средств совершается с постоянным значением ускорения. В этом случае движение транспортных средств на полотне перекрёстка описывается известными зависимостями, представленными в системе (3):

$$\begin{cases} V(t) = V_0 + at \\ x(t) = x_0 + V_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} \end{cases} \quad (3)$$

В таблице 1 приведены рассчитанные по функциям (1) и (2) данные о состояниях единичного ТС при его движении по полотну перекрёстка от начала стоп-линии до конца пересечения и далее, принимая дискретность времени равной 0,25 с.

Таблица 3 – Состояния ТС

Время, с	a, м/с ²	V, км/ч	x, м	Интенсивность q(t), авт/с
0	5	0	0	0
0,25	5	0,4	0,1	0,6
0,5	5	1,2	0,4	1,8
0,75	5	3,2	1,2	4,8
1	5	4,4	2,3	6,6
1,25	5	7,2	4,1	10,8
1,5	5	6,4	5,7	9,6
1,75	5	14,4	9,3	21,6
2	5	10	11,8	15
2,25	5	12,4	14,9	18,6
2,5	5	9,2	17,2	13,8
2,75	5	7,6	19,1	11,4
3	5	17,6	23,5	26,4
3,25	5	24,4	29,6	36,6
3,5	5	16,4	33,7	24,6
3,75	5	5,6	35,1	8,4
4	5	86,8	56,8	130,2
4,25	5	49,2	69,1	73,8
4,5	5	33,2	77,4	49,8
4,75	5	154	115,9	231
5	5	59,6	130,8	89,4
5,25	5	52,8	144	79,2
5,5	5	60	159	90
5,75	5	60	174	90

Из данной таблицы следует, что первый автомобиль проезжает перекресток за 2,8 с, достигнув скорости в 15 км/ч, а средняя скорость проезда перекрестка равна 29 км/ч; такие данные способствуют улучшению имитационной модели в программной среде, позволяя

предусматривать не только схемы проезда перекрёстка, но и оптимальную настройку светофорного регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса: материалы I Всерос.науч.-практ. (заочной) конф. с междунар. участием / под общ. ред. И.А. Якубович. – Магадан : Изд-во СВГУ, 2011 – 300 с.
2. Черкасов, О. Н. Автотранспортные информационные системы управления: учеб. пособие для студентов специальностей, связанных с управлением транспортом / О. Н. Черкасов, В. Е. Межов, Е. А. Анисеев. - Воронеж: Воронежский государственный университет, 2006. - 265 с.
3. Иерархическая система распознавания дорожных знаков. С.В. Белим, Е.В. Хирьянов. «Информационные технологии», - 2022, 6 с
4. Безопасность дорожного движения: методические указания к практическим работам / О.Е. Курьянова. – М.:МАДИ, 2018. – 44 с.

РАЗРАБОТКА ИС САНИТАРНО-КУРОРТНОЙ КНИГИ ПАЦИЕНТА ДЛЯ ДЕТСКОГО САНАТОРИЯ «НАДЕЖДА»

Макухин А.А., Лазарева Т.И.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного общеобразовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
anatomakuh@mail.ru, tatyfaz@mail.ru*

***Аннотация.** В статье рассматривается вопрос о внедрении информационной системы санитарно-курортной книги пациента, с целью автоматизации данного бизнес-процесса детского санатория «Надежда».*

Ключевые слова: санаторий; медицинская система; информационная система.

DEVELOPMENT OF IS PATIENT'S SANITARY-RESORT BOOK FOR THE CHILDREN'S SANATORIUM «NADEZHDA»

Makukhin A.A., Lazareva T.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article discusses the issue of introducing an information system of the patient's sanitary-resort book in order to automate this business process of the children's sanatorium «Nadezhda».*

Keywords: sanatorium; medical system; information system.

Санаторий – это учреждение, специализирующееся на оздоровлении и реабилитации людей. Он представляет собой конкретную предметную область, объединяющую в себе медицинские, оздоровительные, рекреационные и социальные аспекты. Основная цель санатория – предоставление медицинских услуг для восстановления здоровья. Это может включать в себя процедуры физиотерапии, массаж, лечение минеральными водами, лечебные грязи, индивидуальные лечебные курсы в зависимости от заболевания или проблемы, с которой обратился пациент. Помимо лечебных процедур, санатории предлагают разнообразные формы досуга и рекреации для своих посетителей. Санатории важны для

поддержания здоровья, восстановления после болезней или травм, а также для профилактики различных заболеваний.

Областное государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Санаторий для детей «Надежда» активно функционирует с 1988 года. Санаторий круглосуточный, круглогодичный, рассчитан на 100 коек. В санатории проходят курс лечения и реабилитации дети с заболеваниями дыхательной системы и дети с нарушениями функций нервной системы и опорно-двигательного аппарата. С ноября 2021 года – дети, перенесшие новую коронавирусную инфекцию.

Длительность лечения 19 дней. В течение года в санатории проходят 16 заездов [1]. Организационная структура ОГБУЗ «Санаторий для детей «Надежда» представлена на рисунке 1.

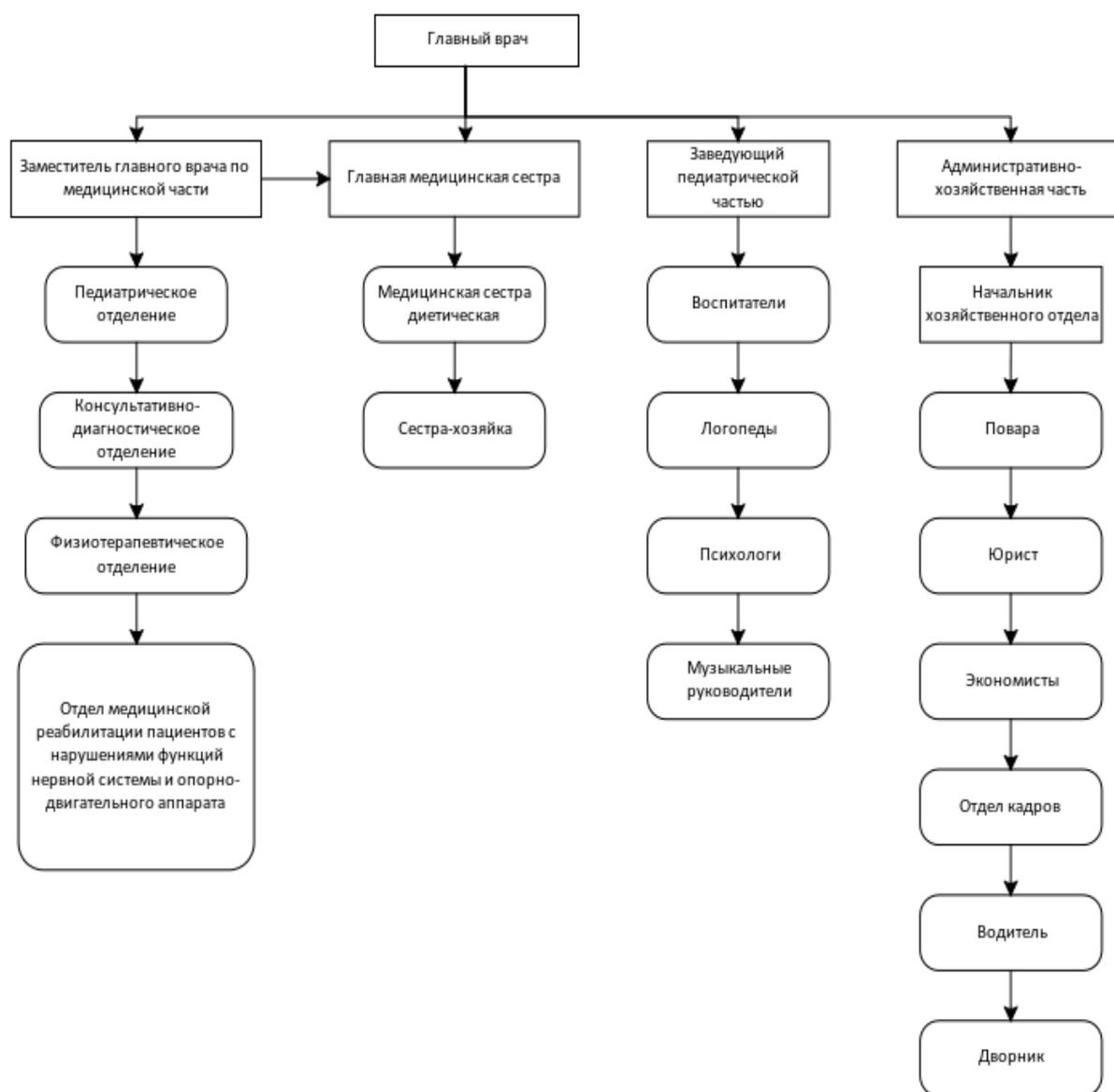


Рис. 1 – Организационная структура ОГБУЗ «Санаторий для детей «Надежда»

Данная структура относится к матричному виду организационных структур, так как сочетает особенности дивизионной и функциональной моделей. Основой разделения на департаменты служит территориальная удаленность подразделений, а функциональность заключается в выполнении проектов специалистами разных департаментов [2].

Санитарно-курортная книжка – это основная медицинская документация пациента, поступающего в санаторий. В ней содержатся сведения о состоянии здоровья пациента, его диагнозах, назначенном курортном лечении, результатах проведенных процедур и анализов. Она также включает в себя рекомендации по дальнейшему лечению и профилактике заболеваний. Сейчас ведение этой документации осуществляется вручную, что часто приводит к ошибкам, задержкам в обработке данных и сложностям в обмене информацией между подразделениями санатория.

Ниже на рисунках 2,3 представлен бизнес-процесс поступления и нахождения пациента в санатории смоделированы по методологии IDEF0.

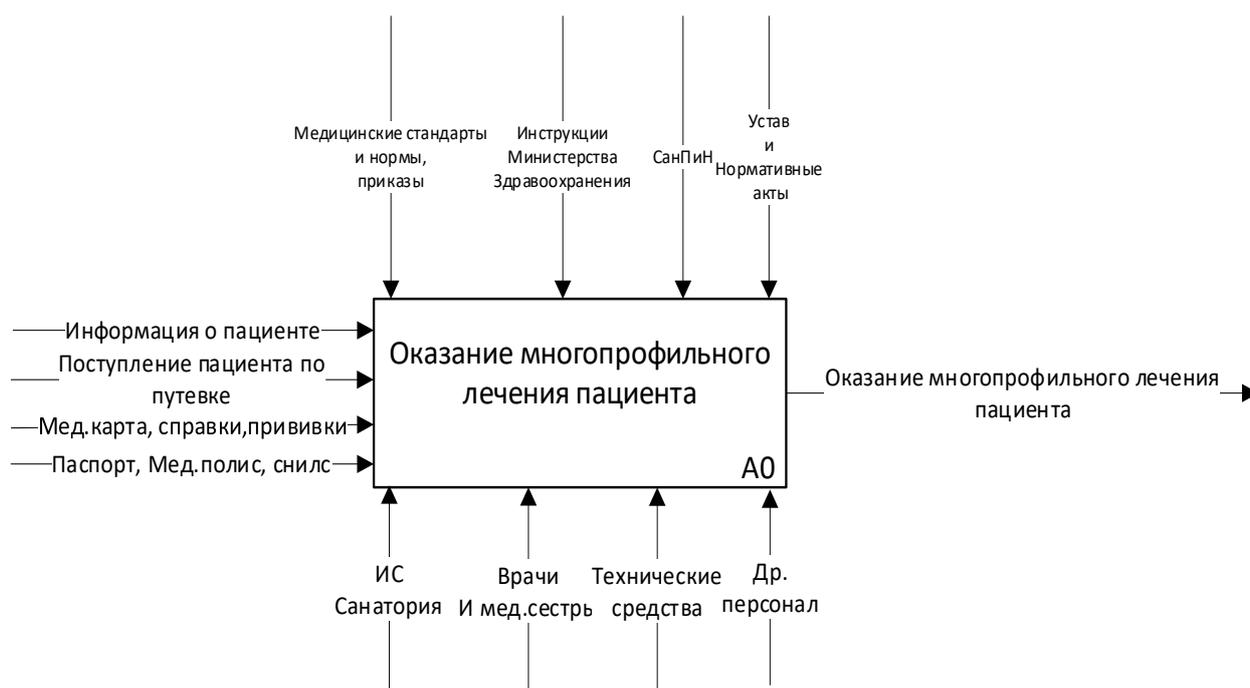


Рис. 2 – Диаграмма IDEF0

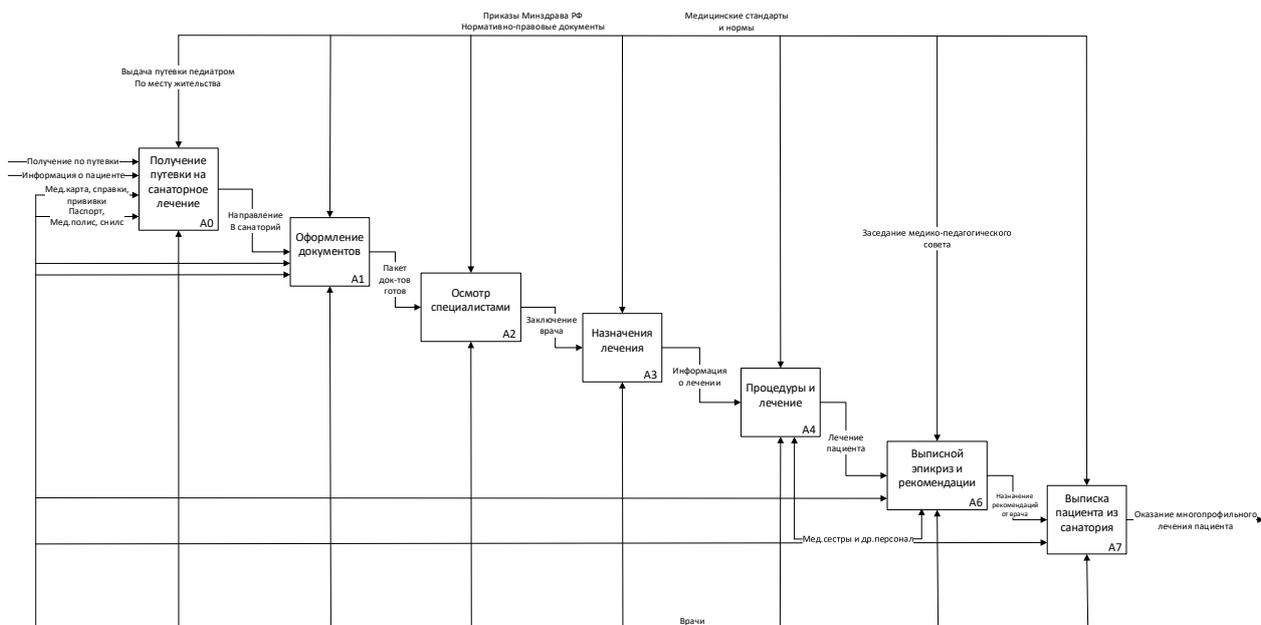


Рис. 3 – Декомпозиция диаграммы IDEF0

Недостатками данного бизнес-процесса являются:

- Ручное заполнение санаторно-курортной книжки;
- Затруднение в оперативном доступе;
- Трудности в анализе и обобщении данных для принятия управленческих решений;
- Недостаточная интеграция с другими системами здравоохранения.

Таким образом, было принято решение о разработке электронной версии санитарно-курортной книжки. Внедрение автоматизированной информационной системы санитарно-курортной книжки пациента (ИС СКК) позволит решить следующие задачи:

- Автоматизация заполнения санитарно-курортной книжки: Ввод данных осуществляется через электронные формы, что исключает ручное заполнение и снижает вероятность ошибок. Медицинские записи обновляются автоматически на основе введенных данных и результатов обследований.
- Оперативный доступ к информации: все данные хранятся в централизованной базе данных, доступной для авторизованных пользователей в реальном времени через различные устройства (ПК, планшеты, смартфоны) с соблюдением мер безопасности.
- Упрощенный анализ и обобщение данных: встроенные инструменты аналитики позволяют автоматически генерировать отчеты и проводить анализ данных для принятия управленческих решений. Возможность создания индивидуальных отчетов по различным критериям (эффективность лечения, использование ресурсов и т.д.).
- Интеграция с другими системами здравоохранения: обмен данными с

внешними медицинскими информационными системами осуществляется через стандартизированные интерфейсы и API, что позволяет синхронизировать данные с государственными системами электронного здравоохранения.

– Улучшенная безопасность и защита данных: реализация многоуровневой системы доступа с аутентификацией и авторизацией пользователей, а также шифрование данных как при хранении, так и при передаче.

– Оптимизация расходования ресурсов: автоматизированный учёт медицинских препаратов и материалов позволяет эффективно управлять запасами и минимизировать издержки, а система предупреждений уведомляет о необходимости пополнения запасов или замены материалов.

– Повышение взаимодействия между подразделениями санатория: интегрированная система обеспечивает бесперебойный обмен информацией между врачами, медперсоналом и администрацией, упрощая координацию мероприятий по лечению и реабилитации пациентов.

– Поддержка пациентов: электронный доступ пациентов к части своих медицинских данных способствует повышению прозрачности лечения и улучшению соблюдения рекомендаций врачей. Также предусмотрена возможность онлайн-записи на процедуры и консультации, а также получения электронных справок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Областное государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Санаторий для детей «Надежда» – официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://nadezhda.belzdrav.ru/about/> (дата обращения: 25 октября 2024 г.).

2. Организационная структура предприятия как главный борец с хаосом в бизнес-процессах – Совкомблог [Электронный ресурс]. – URL: https://journal.sovcombank.ru/biznesu/organizatsionnaya-struktura-predpriyatiya-kak-glavnii-borets-s-haosom-v-biznes-protsessah#h_717704274391671526546150(дата обращения: 26 октября 2024 г.).

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ «СМАРТ-КОНТЕЙНЕРОВ» В ТРАНСПОРТНО- ЛОГИСТИЧЕСКОМ ТЕРМИНАЛЕ

Марченко Ю.В., Молаоди О., Попов С.И.

*Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону
spopov1957@yandex.ru*

***Аннотация.** Представлены результаты построения имитационной модели функционирования транспортно-логистического терминала автоматизированной системы по вывозу твердых бытовых отходов с применением грузового канатного транспорта. Моделирование позволило продемонстрировать влияние различных факторов на систему управления терминалом. Изменяя параметры модели, удалось определить оптимальные временные интервалы и скорости на разных этапах работы, что способствует достижению бесперебойной работы терминала без задержек в очереди.*

Ключевые слова: твердые бытовые отходы; утилизация; автоматизированное транспортирование; транспортно-логистический терминал; канатный транспорт; имитационное моделирование.

SIMULATION OF THE PROCESSES OF AUTOMATED TRANSPORTATION OF "SMART CONTAINERS" IN THE TRANSPORT AND LOGISTICS TERMINAL

Marchenko Ju.V., Molaodi O., Popov S.I.

*Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation
spopov1957@yandex.ru*

***Abstract.** The results of constructing a simulation model of the functioning of the transport and logistics terminal of an automated system for the removal of solid household waste using a cargo cable car are presented. The simulation allowed us to demonstrate the influence of various factors on the terminal management system. By changing the parameters of the model, it was possible to determine the optimal time intervals and speeds at different stages of operation, which contributes to the smooth operation of the terminal without delays in the queue.*

Keywords: solid household waste; recycling; automated transportation; transport and logistics terminal; rope transport; simulation modeling.

Для обеспечения бесперебойной работы транспортно-логистического терминала автоматизированной системы по вывозу твердых бытовых отходов с применением грузового канатного транспорта [1,2] была разработана имитационная модель с использованием платформы AnyLogic [3,4], которая позволила провести анализ процесса транспортировки и управления смарт-контейнерами в транспортно-логистическом терминале.

Моделирование позволяет проводить анализ сложных систем в виртуальных средах, где функции и системы управления могут быть оптимизированы [5]. Имитационная модель имитирует поведение системы на основе данных, собранных из системы. Затем систему можно обучить на основе данных, полученных с помощью имитационной модели, что позволит изучать динамику системы и исследовать различные стратегии управления без необходимости физических экспериментов.

Были изучены компоненты транспортно-логистического терминала [1,2]. Терминал состоит из (рис 1) замедляющего конвейера, механизма открепления смарт-контейнера от подвеса, роликового конвейера, кантователя, механизма закрепления смарт-контейнера с помощью подвеса, мойки, зона диагностического осмотра, разгоняющего подвесного конвейера.

Таким образом, установлено, что система представляет собой сложную роликовую конвейерную систему, разделенную на различные этапы. Умные контейнеры зависят от этой конвейерной системы при переходе на различные этапы обработки. Будь то опорожнение мусорных мешков, мойка, сушка или диагностика на предмет дефектов, контейнеры все равно будут находиться в какой-то движущейся части конвейера.

Поэтому объектом управления для данной системы была выбрана скорость роликового конвейера. При моделировании конвейерной системы терминала скорость роликового конвейера варьировалась в зависимости от того, сколько минимального времени займет процесс прохождения контейнеров на данном этапе.

Этапы моделирования и настройки изменения скорости конвейера могут быть представлены следующим порядком действий [6, 7].

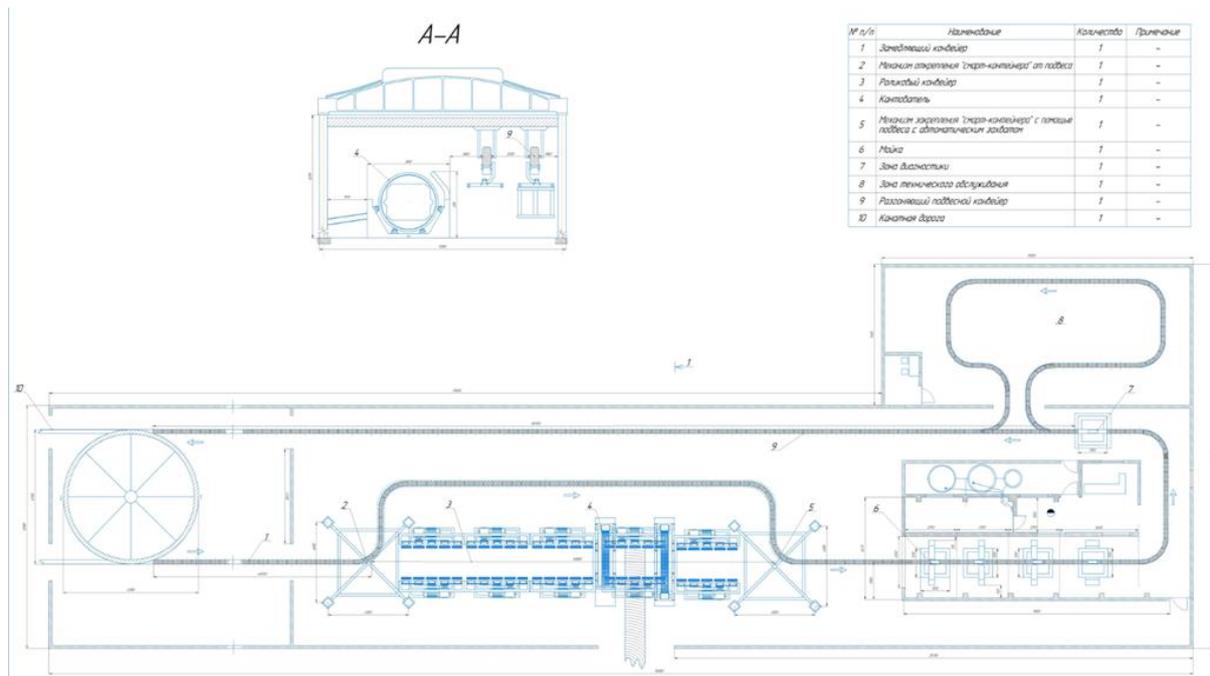


Рис. 1 – Транспортно-логический терминал

Контейнеры поступают с канатной дороги на высокой скорости, около 3,5 м/с, в терминал на замедляющийся конвейер, который замедляет скорость контейнеров, постепенно снижая ее до 1,6 м/с (рис. 2,3).

conveyor4 - Конвейер

Имя: Исключить

Отображается на верхнем агенте Блокировать

Видимость: да

Тип материального объекта: ▼

Является препятствием

Тип: ▼

Максимальная скорость: м/с ▼

Начальная скорость: м/с ▼

Ускорение: метров в секунду² ▼

Замедление: метров в секунду² ▼

Размер лотка: м ▼

Зазор: м ▼

Рис. 2 – Задание скорости и грузоподъемности «Замедляющего подвесного конвейера»

source - Source

Имя: Отображать имя

Исключить

Прибывают согласно: ▾

Интенсивность прибытия: ▾

Считать параметры агентов из БД:

За 1 раз создается несколько агентов:

Ограниченное кол-во прибытий:

Максимальное кол-во прибытий:

Местоположение прибытия: ▾

Агент

Новый агент: ▾

[создать другой тип](#)

Изменить размеры:

Длина: ▾

Ширина: ▾

Высота: ▾

Рис. 3 – Задание интенсивности и габаритов

Далее механизм открепления снимает смарт-контейнеры с подвешного замедляющего конвейера и передает их на роликовый конвейер (рис. 4, 5).

overheadCrane - Мостовой кран

Имя: Исключить

Отображается на верхнем агенте Блокировать

Видимость: да

Тип материального объекта: ▾

Является препятствием

Количество мостов:

Подъем и перемещение выполняются: Последовательно
 Одновременно
 Одновременно (кроме лебедки)

Скорость моста: ▾

Скорость каретки: ▾

Скорость лебедки: ▾

Задать ускорение/замедление:

Рис. 4 – Задание скорости и грузоподъёмности «Портального манипулятора»

conveyor1 - Конвейер

Имя: Исключить

Отображается на верхнем агенте Блокировать

Видимость: да

Тип материального объекта:

Является препятствием

Тип:

Максимальная скорость: м/с

Начальная скорость: м/с

Ускорение: метров в секунду²

Замедление: метров в секунду²

Зазор: м

Рис. 5 – Задание скорости и грузоподъёмности «Роликового конвейера»

На роликовом конвейере расположена станция кантователя, который переворачивает контейнеры на 180 градусов, чтобы выгрузить бытовые отходы и отправить их на станцию сортировки и утилизации (рис. 6).

turnStation - Платформа вращения

Имя: Исключить

Отображается на верхнем агенте Блокировать

Видимость: да

Тип материального объекта:

Является препятствием

Поворачивать: На заданный угол
 До заданной ориентации

Угол: градусы

Скорость: м/с

Скорость поворота: град/сек

Рис. 6 – Задание скорости поворота «Кантователя»

Затем пустые контейнеры перемещаются в механизм крепления смарт-контейнера, чтобы прикрепить контейнеры обратно к подвесному конвейеру. Этом подвесной конвейер доставляет контейнеры на станцию мойки, где контейнеры подвергаются мойке и сушке (рис. 7, 8). Скорость контейнеров здесь гораздо меньше, около 0,09 м/с, чтобы контейнеры промывались как можно тщательнее.

station1 - Станция обработки

Имя: Исключить

Отображается на верхнем агенте Блокировать

Видимость: да

Тип материального объекта:

Тип задержки: определенное время
 до вызова функции stopProcess()

Время обработки:

Вместимость:

Обработка:

Рис. 7 – Задание времени прохождения «Мойки» и её вместимости

conveyor8 - Конвейер

Имя: Исключить

Отображается на верхнем агенте Блокировать

Видимость: да

Тип материального объекта:

Является препятствием

Тип:

Максимальная скорость:

Начальная скорость:

Ускорение:

Замедление:

Размер лотка:

Зазор:

Рис. 8 – Задание скорости и грузоподъёмности «Подвесного конвейера» внутри «Мойки»

После завершения мойки контейнеров они перемещаются на станцию диагностики для проверки наличия дефектов (рис. 9). Контейнеры с дефектами перемещаются на станцию технического обслуживания, а контейнеры в исправном состоянии возвращаются на разгоняющий конвейер. Здесь тоже скорость контейнеров здесь гораздо меньше, около 0,9 м/с.

station - Станция обработки

Имя: Исключить

Отображается на верхнем агенте Блокировать

Видимость: да

Тип материального объекта: ▼

Тип задержки: определенное время
 до вызова функции stopProcess()

Время обработки: секунды ▼

Вместимость:

Обработка: ▼

Рис. 9 – Задание времени прохождения «Диагностического осмотра» и вместимости пункта

Разгоняющий конвейер, скорость которого достигает 3,5 м/с, имеет ускорение 0,25 м/с², отправляет контейнеры обратно на канатную дорогу с высокой скоростью (рис. 10).

conveyor2 - Конвейер

Имя: Исключить

Отображается на верхнем агенте Блокировать

Видимость: да

Тип материального объекта: ▼

Является препятствием

Тип: ▼

Максимальная скорость: м/с ▼

Начальная скорость: м/с ▼

Ускорение: метров в секунду² ▼

Замедление: метров в секунду² ▼

Размер лотка: м ▼

Зазор: м ▼

Рис. 10 – Задание скорости и грузоподъёмности «Разгоняющего подвесного конвейера»

Также при моделировании был добавлен агент в виде коробки для представления смарт-контейнеров [8], перемещающихся через терминал (рис. 11).

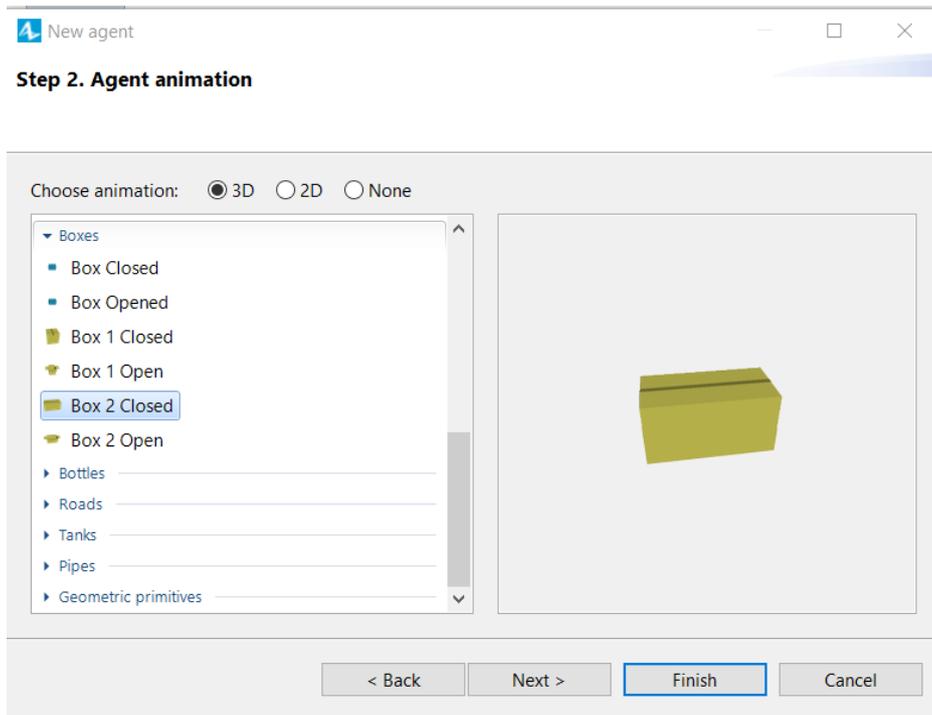


Рис. 11 – Смарт-контейнер

После моделирования и изменения параметров терминала была написана логика управления процессами транспортно-логистического терминала (рис. 12), позволяющая соединить и проконтролировать поведение этих компонентов для функционирования как единого целого.

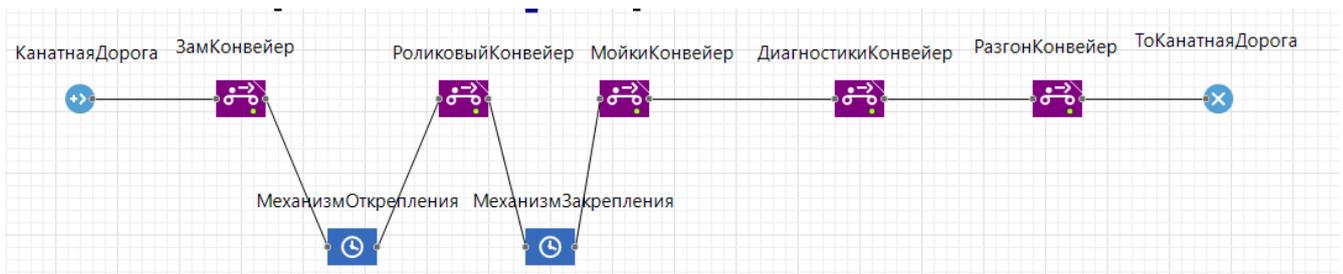


Рис. 12 – Логика управления процессами транспортно-логистического терминала

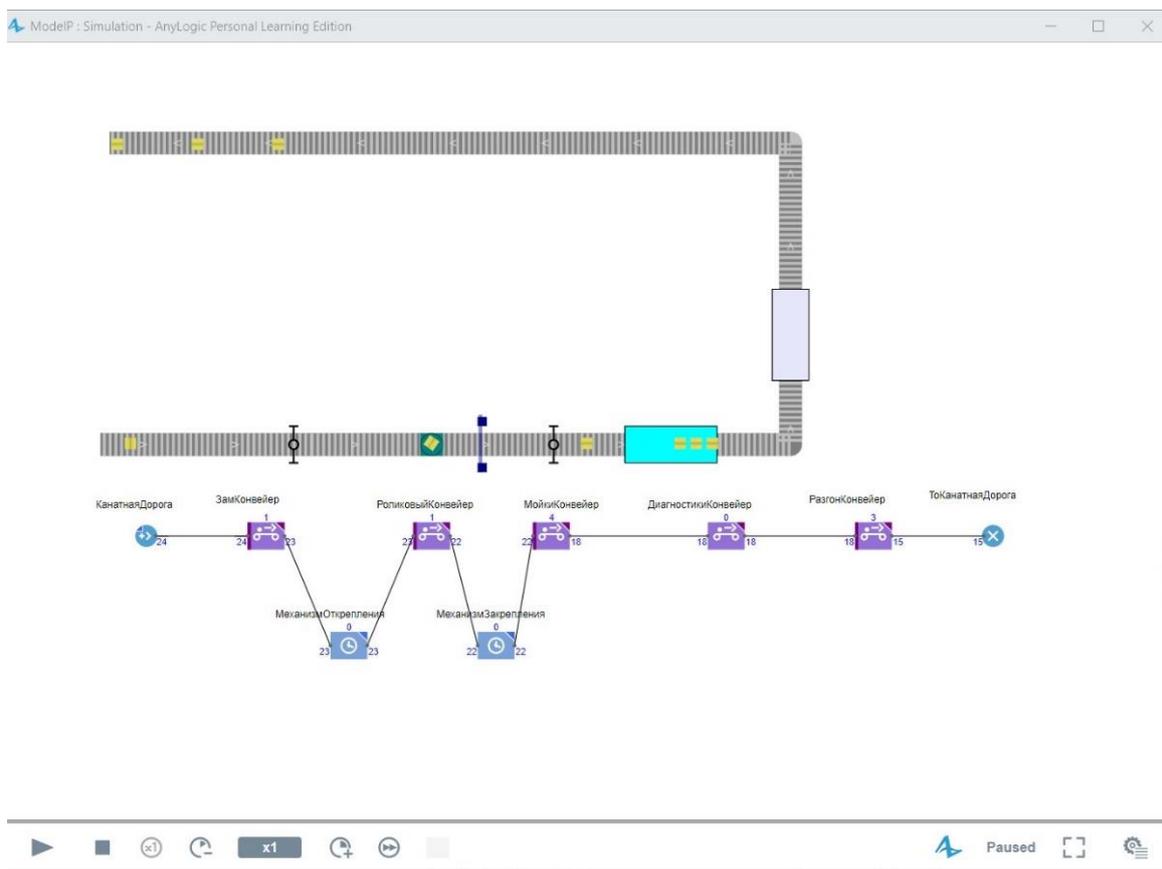


Рис. 13 – Результат запуска имитационной модели

Запустив симуляцию, было отмечено, что смарт-контейнеры двигались с разной скоростью на разных участках терминала и не было никакой очереди из контейнеров (рис. 13).

В результате проведенной работы можно сделать вывод что, построение имитационной модели позволило продемонстрировать влияние различных факторов на систему управления терминалом. Изменяя параметры модели, удалось определить оптимальные временные интервалы и скорости на разных этапах работы, что способствует достижению цели бесперебойной работы терминала без задержек в очереди.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Короткий А.А., Марченко Ю.В., Попов С.И., Марченко Э.В., Панфилов А.В., Тимофеев С.А., Дашков Н.А. Способ конвейерного вывоза твердых бытовых отходов в урбанизированной среде // Патент на изобретение № 2739424 Российская Федерация, МПК В09В 1/00 (2006.01).- № 2020117098; заявл. 12.05.20; опубл. 24.12.20, Бюл. № 36.

2. Marchenko Ju.V., Korotky A.A., Popov S.I., Marchenko E.V., Galchenko G.A., Kosenko V.V. Municipal waste management in an urbanized environment based on ropeway technology // XIV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2021». Lecture Notes

in Networks and Systems, Vol. 246, pp. 235-241, 2022. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-030-81619-3_26.

3. Borshchev, A. (2013). The Big Book of Simulation Modeling. Multimethod modeling with AnyLogic 6. AnyLogic North America.

4. The AnyLogic Company. (2014). AnyLogic Help. [Online]. [http://www.anylogic.com/anylogic/help].

5. Popov S.I., Galchenko G.A., Marchenko Ju.V., Drozdov D.S. Use of neural networks and autopilot for quick and accurate grain discharge on the elevator // XIV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2021»: Robotics, Machinery and Engineering Technology for Precision Agriculture. Smart Innovation, Systems and Technologies, Vol. 247, pp. 45-53, 2022. Springer, Singapore. doi.org/10.1007/978-981-16-3844-2_6.

6. Марченко Ю.В., Дерюшев В.В., Попов С.И., Марченко Э.В. Модель многопараметрической оптимизации характеристик канатной дороги в системе транспортировки твердых бытовых отходов // Безопасность техногенных и природных систем.- 2023.- Том 7, № 4.- С. 80–96. doi.org/10.23947/2541-9129-2023-7-4-80-96.

7. Zvezdina M.Yu., Shokova Yu.A., Marchenko Ju.V., Popov S.I. Digitalization of transport in the South Russia macro-region and its environmental consequences // Sociología y Tecnociencia, Vol. 14 (2), pp. 1-22, 2024. doi.org/10.24197/st.2.2024.1-22.

8. Marchenko Ju.V., Popov S.I. The use of a unified container in an ecological automated system for the removal of solid household waste in an urbanized environment based on rope transport technologies // XV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2022». Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 575, pp. 1304-1311, 2023. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-031-21219-2_146.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛАКА НА ПОВЕРХНОСТИ ЖЕСТЯНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Мельникова К.Э., Полещенко Д.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
kristoff91@mail.ru, po-dima@yandex.ru

Аннотация. В данной статье описаны основные методы обнаружения лака на поверхности жестяных изделий и выделены их недостатки. Рассмотрен вопрос перспективы внедрения системы машинного зрения для автоматизации процесса обнаружения лака на поверхности жестяных изделий. Выделены этапы работы системы машинного зрения применительно к задаче и проблемы, связанные с реализацией данного метода.

Ключевые слова: обнаружение лака на поверхности жестяных изделий; обнаружение дефектов; системы машинного зрения; автоматизация обнаружения лака.

PROSPECTS OF APPLICATION MACHINE VISION FOR THE DETECTION OF VARNISH ON THE SURFACE OF TIN PRODUCTS

Melnikova K.E., Poleshenko D.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. This paper describes the main methods of detecting varnish on the surface of tin products and highlights their disadvantages. The question of prospects of introduction of machine vision system for automation of the process of detection of varnish on the surface of tin products is considered. The stages of machine vision system operation in relation to the task and problems related to the realization of this method are highlighted.

Keywords: detection of varnish on the surface of tin products; detection of defects; machine vision systems; automation of varnish detection.

Процесс производства жестяных банок включает несколько этапов, среди которых окрашивание или покрытие поверхности лаком. Лаковая пленка служит защитой от коррозии

и повреждений, а также улучшает внешний вид продукции. Однако не всегда покрытие оказывается равномерным или полностью покрывает всю поверхность банки.

Важно уметь точно определить наличие лакового покрытия на поверхности банки для обеспечения качества продукции и соблюдения стандартов безопасности, так как при сварке жестяных изделий, особенно тех, что ранее были покрыты лаком или другими защитными материалами, может возникнуть опасность возгорания.

К основным методам обнаружения лака на поверхности банок относятся:

1. Визуальный осмотр.

Самый простой способ проверить наличие лака – это визуальный осмотр поверхности банки. При хорошем освещении можно заметить наличие гладкой, блестящей или матовой поверхности, отличной от рисованного или брутального металла. Однако этот метод не всегда надежен, особенно если лак очень тонкий или имеет цвет, похожий на металл.

2. Лазерный сканер-дефектоскоп.

Лазерный сканер-дефектоскоп позволяет измерять толщину лакового слоя с высокой точностью. При помощи специального лазера система определяет расстояние между лазерным излучением и поверхностью банки, а затем сравнивает его с эталонными значениями.

3. Ультразвуковые методы.

Ультразвуковые методы используются для измерения толщины лакового покрытия путем передачи звуковых волн через материал. Звуковые волны отражаются от границ различных материалов, и время их обратного пути позволяет вычислить толщину каждого слоя. Этот метод эффективен при наличии нескольких слоев покрытия и позволяет точно определить толщину каждого из них.

4. Магнитометрический метод.

Магнитометрический метод основан на измерении магнитной проницаемости материала. Лак имеет другую магнитную проницаемость по сравнению с металлом, что позволяет различать наличие лакового покрытия. Этот метод может быть использован для быстрой проверки больших партий банок, но его точность ниже, чем у некоторых других методов.

5. Химические тесты.

Химические тесты также могут использоваться для определения наличия лака на поверхности банок. Например, при воздействии некоторых растворителей лак может размягчиться или даже раствориться, что позволит увидеть металл под ним. Однако этот метод требует осторожности, так как химические реакции могут повредить поверхность банки или вызвать другие проблемы.

6. Инфракрасная спектроскопия.

Инфракрасная спектроскопия (ИКС) позволяет идентифицировать химические соединения на поверхности банки. ИКС анализирует, как инфракрасное излучение взаимодействует с молекулами на поверхности, и позволяет определить тип используемого лака. Этот метод требует специализированного оборудования и квалифицированных специалистов, но он предоставляет наиболее точные результаты [1,2].

Традиционные методы контроля качества имеют ряд недостатков:

1. Высокая вероятность человеческой ошибки.
2. Высокие затраты времени и ресурсов.
3. Непредсказуемость результатов при изменении условий освещения и других факторов.

В настоящее время в производственные процессы широко внедряются системы машинного зрения. Известны некоторые примеры использования подобных систем для обнаружения дефектов поверхностей. Это система машинного зрения для выявления дефектов ML Sense от Nord Clan. Её установили на конвейерную линию завода компании «ТехноСтиль», который выпускает сэндвич-панели и рулонную сталь. Система в режиме реального времени обнаруживает дефекты на полотне металлопроката: царапины, вмятины, сквозные прорывы, непроцинковку, повреждения кромки и другие. Точность распознавания составляет не менее 97%.

Ещё один пример – система автоматизированного контроля дефектов в лигатуре при УФ-облучении. В её состав входят две IP-камеры высокого разрешения и АРМ оператора на базе компьютера промышленного исполнения. Программное обеспечение системы выявляет дефекты в лигатуре на движущейся конвейерной ленте. В случае обнаружения дефекта система информирует оператора и останавливает движение конвейера [3].

Рассмотрим перспективу использования машинного зрения для обнаружения лака. Использование машинного зрения для автоматического обнаружения лака на поверхности жестяных банок позволяет решить вышеупомянутые проблемы и повысить качество продукции.

Алгоритм работы системы машинного зрения применительно к данной задаче можно разделить на три этапа:

1. Захват изображения с применением фоточувствительные датчики, цифровых камер, ультрафиолетовых или инфракрасных камеры.
2. Обработка цифровых данных и их анализ с помощью алгоритмов обработки изображений.

3. Принятие решения, которое может включать в себя сигнализацию оператору, передачу данных в другую систему или команду роботу на действие.

Для реализации данного метода существует ряд проблем, таких как:

1. Сбор образцов изображений банок с различными уровнями покрытия лаком. Подготовка данных для обучения модели машинного обучения является достаточно сложной задачей из-за широкого разнообразия поверхностей и используемых лаковых покрытий [4,5].

2. Выбор и обучение подходящей модели машинного обучения, например, сверточной нейронной сети (CNN).

3. Интеграция системы в производственный процесс, а именно выбор подходящего типа камер и их установка для захвата изображений банок на производственной линии. Эта задача усложняется разнообразием процессов и внешних воздействий таких как освещение, температура производственного помещения.

4. Интеграция обученной модели в систему управления производством для автоматической проверки качества.

Кроме того, требуется постоянное совершенствование модели на основе новых данных и изменений в производственном процессе. Все эти факторы накладывают ограничения к применению данного метода. Однако, системы машинного зрения могут обрабатывать большое количество изображений в кратчайшие сроки, что позволит работать в темпе производства не снижая производительности. Автоматизация процесса контроля качества снижает затраты на трудовые ресурсы и минимизирует потери из-за дефектных изделий.

Выбор метода обнаружения лака на поверхности жестяных банок зависит от конкретных условий и требований к качеству продукции. Использование технологий машинного зрения для обнаружения лака на поверхности жестяных банок представляет собой эффективный способ повышения качества продукции и оптимизации производственных процессов. Автоматизированные системы машинного зрения обеспечивают высокую точность, производительность и гибкость, что делает их идеальным выбором для современной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Bendada A. Optical and Infrared Vision Non-Destructive Techniques: Integration as a means for the Defects Detection on Impacted Composite Materials // Proceedings of the 4th International Conference on Crack Paths (CP 2012), Gaeta, Italy 2012. – 2012. – P. 841–848.

2. Ibarra-Castanedo C., Bendada A., Xavier P.V. Maldague Infrared vision applications for the nondestructive testing of materials // 5th Pan American Conference for NDT 2-6 October 2011, Cancun, Mexico 2011. – P. 451–456.

3. Гордеев Д.В.. Применение машинного зрения для поиска и обнаружения поверхностных дефектов сварных соединений // *Juvenis scientia*. – 2018. – № 3. – С. 4 – 6

4. Потапов А.И., Клопов В.Д.. Оптический метод неразрушающего контроля светорассеивающих материалов // *Российский индекс научного тестирования*. – 2005. 2005. Т. 41. № 7. С. 473-481.

5. Цапаев А. П., Кренин О. В. Методы сегментации изображений в задачах обнаружения дефектов поверхности // *Компьютерная оптика*. – 2012. – Т. 36, № 3. – С. 448–452.

**О СИСТЕМЕ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ КАК ИНСТРУМЕНТЕ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОНЫ РИСКА С ВЫСОКОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОИСШЕСТВИЙ**

Москвитина В.Ю., Цыганков Ю.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
klera94@mail.ru, TsY-18@yandex.ru*

***Аннотация.** Статья посвящена исследованию вопроса важности применения прогнозной аналитики в сфере ОТиПБ как инструмента в рамках реализации комплексных мероприятий по предупреждению наступления происшествий.*

Ключевые слова: травматизм; охрана труда; несчастный случай; АСУ ОТиПБ; происшествие, риски.

**ABOUT THE PREDICTIVE ANALYTICS SYSTEM AS A TOOL FOR DETERMINING
RISK ZONES WITH HIGH PROBABILITY OF INCIDENTS**

Moskvitina V.Yu., Tsygankov Y.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The article is devoted to the study of the importance of using predictive analytics in the field of occupational safety and health as a tool as part of the implementation of comprehensive measures to prevent incidents.*

Keywords: traumatism; labor protection; accident; automated occupational health and safety management system; incident, risks

Производственный травматизм – это совокупность травм, полученных работающими на производстве и вызванных несоблюдением требований безопасности труда. Производственная травма всегда является результатом несчастного случая [1].

На сегодняшний день производственный травматизм в России остается актуальной проблемой. Согласно данным Роструда о результатах мониторинга условий и охраны труда в

Российской Федерации с 2019 по 2023 год динамика основных показателей в этой сфере имеет противоречивый характер. Данные о производственном травматизме в России за период с 2019 по 2023 год представлена в Таблице 1 [2-6].

Таблица 1 – Динамика производственного травматизма в России за 2019-2023 гг.

Показатель/Год	2019	2020	2021	2022	2023
Количество несчастных случаев с тяжелыми последствиями на производстве, в том числе:	5 860	5171	5491	5749	5892
со смертельным исходом	1331	1216	1337	1317	1285

В связи с интенсивным развитием производственных процессов одним из безусловных приоритетов для крупных предприятий как в России, так и во всем мире, выступает вопрос обеспечения безопасности на производстве. Основными причинами производственного травматизма остаются неудовлетворительная организация работ, несоблюдение норм технологических процессов и нарушения ПДД. Наиболее частые травмы происходят из-за падения работников, ударов деталей и оборудования, а также обвалов и обрушений материалов.

Существует множество мероприятий, направленных на предупреждение травматизма. Например, проверка исправности работающего оборудования, проведение инструктажей и обучение рабочего персонала, проведение проверок рабочих мест на соответствие с нормами СНиПов и ГОСТов, обеспечение сотрудников инструкциями по технике безопасности, периодическое проведение медицинских осмотров сотрудников, контроль за использованием средств индивидуальной и коллективной защиты сотрудников, визуализация рисков и т.д.

В настоящее время в стране осуществляется модернизация системы управления охраны труда, предусматривающая переход от компенсационной, затратной модели, основанной на выплатах за утраченное здоровье, к современной системе оценки и управления профессиональными рисками, позволяющей реализовать превентивные подходы к сохранению здоровья работников на производстве и сократить издержки, связанные с неблагоприятными условиями труда.

Уровень производственного травматизма зависит от современного состояния условий труда, организации трудового процесса и характера труда. Этот показатель быстро реагирует на изменения, связанные с внедрением новых безопасных технологий и оборудования, повышением культуры производства и т.п. [7].

С 2021 года Компания Металлоинвест проводит масштабную трансформацию системы охраны труда и производственной безопасности, включающую развитие риск-ориентированного управления, внедрение новых стандартов работы руководителей, повышение уровня технологической безопасности, цифровизацию и дебюрократизацию процессов, совершенствование взаимодействия с подрядными организациями.

Металлоинвест — мировой лидер в производстве товарного горячебрикетированного железа (ГБЖ), ведущий производитель и поставщик железорудной и металлизированной продукции, один из региональных производителей высококачественной стали.

В состав Металлоинвеста входят ведущие горно-обогатительные предприятия России — Лебединский и Михайловский горно-обогатительные комбинаты, металлургические предприятия — Оскольский электрометаллургический комбинат и компания по вторичной переработке металла «УралМетКом», а также активы, обеспечивающие сервисное обслуживание и поставку сырьевых материалов горнорудным и металлургическим предприятиям [8].

Динамика производственного травматизма на предприятиях Компании за период с 2019 по 2023 год, представлена в Таблице 2 [9].

Таблица 2 – Динамика производственного травматизма на предприятиях Металлоинвеста за 2019-2023 гг.

Общее количество несчастных случаев на производстве, в том числе:	2019	2020	2021	2022	2023
ЛГОК:	39	26	23	22	10
со смертельным исходом			2	1	
МГОК:	29	25	21	25	15
со смертельным исходом		1	1	1	
ОЭМК:	27	21	16	12	11
со смертельным исходом	1	4	1		
Уральская Сталь:	37	27	14	3	
со смертельным исходом	4				
Прочие:	4	3	15	10	10
со смертельным исходом	2	1			1
Подрядные организации:			17	9	3
со смертельным исходом			1		1
Металлоинвест:	136	102	106	81	49
со смертельным исходом	7	6	5	2	2

Одним из ключевых аспектов стратегии Металлоинвеста является достижение к 2025 году нулевого уровня смертельного травматизма.

Для осуществления этой цели в Компании реализовывается большое количество мероприятий в области ОТиПБ, направленных на сохранение жизни и здоровья работников Компании, а также обеспечение безопасных условий труда:

- идентификация опасностей и оценка рисков, в соответствии с международным стандартом ISO 45001:2018;
- трансформационный проект «PROриски», нацеленный на повышение культуры безопасности и значительное снижение травматизма через обучение риск-ориентированному поведению и внедрение новой эффективной системы по управлению рисками;
- работа института внутренних тренеров по безопасности, задача которых – масштабировать новые внедряемые практики и инструменты в области безопасности;
- создание портала и мобильного приложения по ОТиПБ;
- запуск проекта по предотвращению столкновений ж/д транспорта;
- реализация стратегического проекта по трансформации культуры безопасности;
- запуск полигонов по отработке навыков в ограниченных и замкнутых пространствах на всех предприятиях, а также полигоны по отработке навыков работы с грузоподъемными механизмами в ремонтных подразделениях предприятий Металлоинвеста и т.д. [10].

Однако, сегодня перед Компанией стоит очередной вызов. В связи с ограниченностью человеческих ресурсов безопасность и здоровье работников становится все более приоритетной задачей. Подрядные организации, которые должны компенсировать отсутствие персонала, заходят с более низкой культурой безопасности и знаниями в области охраны труда.

Дополнительным мощным инструментом для достижения цели «нулевого травматизма» к 2025 году будет предиктивная аналитика потенциальных происшествий, которая на сегодняшний день отсутствует в Компании. Во внутренней АСУ ОТиПБ формируется большой массив данных о рисках и несоответствиях в разрезе структурных подразделений предприятий, входящих в состав Металлоинвеста, который не используется в полном объеме.

В рамках реализации задачи по формированию системы предиктивной аналитики предполагается создание модели линейной регрессии, которая покажет зависимость между видами выявленных несоответствий и видами происшествий, которые вероятно могут возникнуть. Модель будет учитывать не только количество зафиксированных несоответствий, но и тяжесть их потенциальных последствий. Например, в подразделении зафиксировано десять несоответствий о том, что на маршруте передвижения лежит шланг,

что может привести к легкому несчастному случаю «Поскальзывание, спотыкание, падение на одном и том же уровне», и зафиксировано одно несоответствие о том, что неисправна задвижка печи, что может привести к смертельному несчастному случаю «Отравление газами, удушение», очевидно, что второй случай требует более оперативного реагирования.

Результаты исследований будут представлены на интерактивной аналитической панели с отражением всех ключевых параметров, и на тепловой карте, визуализирующей данные при помощи цвета, где зеленая зона – оперативное вмешательство не требуется, красная зона – требуется выявить корневые причины возникновения несоответствий и разработать мероприятия по недопущению их повторения.

Вывод

На основе анализа массива имеющихся данных возможно определить потенциальную зону риска, в которой высока вероятность возникновения происшествий. Данное исследование позволит вертикали ОТиПБ Компании своевременно среагировать на потенциальную угрозу и предупредить риск возникновения любых событий, условий или действий, которые могут привести к несчастному случаю на производстве, инциденту, аварии, заболеванию, нанесению ущерба имуществу, окружающей среде или репутации предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Пособие по охране труда дорожному мастеру" (утв. Распоряжением Минтранса РФ от 29.01.2003 N ОС-37-р) [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_82780/c54df5e4916d62094818fcccc56b1a1f7a84b83c/
2. Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2019 году [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://eisot.rosmintrud.ru/attachment/339_attachments_article_47_monitoring-2019.pdf (дата обращения 05.11.2024).
3. Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2020 году [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://eisot.rosmintrud.ru/attachment/339_attachments_article_47_monitoring-2020.pdf (дата обращения 05.11.2024).
4. Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2021 году [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://eisot.rosmintrud.ru/attachment/339_attachments_article_47_monitoring-2021.pdf (дата обращения 05.11.2024).

5. Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2022 году [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://eisot.rosmintrud.ru/attachment/result_22 (дата обращения 05.11.2024).
6. Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2023 году [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://eisot.rosmintrud.ru/attachment/Result2023_new (дата обращения 05.11.2024).
7. Бухтияров И.В. Производственный травматизм как критерий профессионального риска / И.В. Бухтияров, Н.Ф. Измеров, Г.И. Тихонова, А.Н. Чуранова // Проблемы прогнозирования. – 2017. - №5. – С. 140-149.
8. Информация о Компании Металлоинвест [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www.metalloinvest.com/about/company-profile/> (дата обращения 06.11.2024)
9. Отчеты об устойчивом развитии Компании Металлоинвест [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www.metalloinvest.com/development/csr-reports/> (дата обращения 06.11.2024)
10. Отчет об устойчивом развитии Компании Металлоинвест за 2023 год [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://www.metalloinvest.com/upload/iblock/fad/our_rus_final.pdf - (дата обращения 06.11.2024).

ПРИМЕНЕНИЕ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМАХ

Моторина Н.П.¹, Тетеревлёва Е.В.²

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

² Ухтинский государственный технический университет, Ухта
motorina.np@misis.ru eteterevleva@ugtu.net

***Аннотация.** Рассмотрено применение порталных кранов. Приведены описания строительных и перегрузочных порталных кранов и требования к ним. Описаны различные виды ЭП. Отмечены положительные качества частотных электроприводов.*

Ключевые слова: электрический привод; применяемые приводные крановые электродвигатели; требования к электроприводам подъема; частотное управление электроприводом.

APPLICATION OF FREQUENCY ELECTRIC DRIVE IN LOAD-LIFTING MECHANISMS

Motorina N.P.¹, Teterevleva E.V.²

¹ Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

² Ukhta State Technical University, Ukhta

***Abstract.** The use of portal cranes is considered. Descriptions of construction and reloading portal cranes and requirements for them are given. Various types of EP have been described. The positive qualities of frequency electric drives are noted.*

Keywords: electric drive; used drive crane electric motors; requirements for electric lifting drives; frequency control of electric drive.

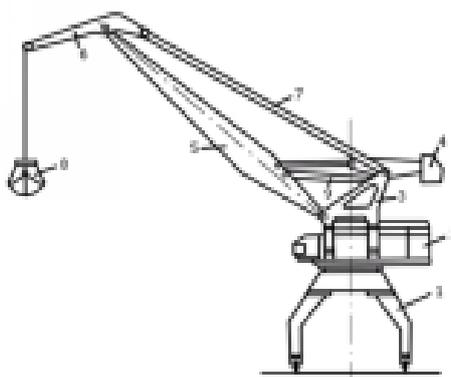
В настоящее время порталные краны широко применяются при строительстве плотин, шлюзов и силовых зданий крупных гидроэлектростанций для укладки бетона. Строительные порталные краны используются для механизации строительных работ и на крупных энергетических объектах. Перегрузочные порталные краны применяются для

погрузочных и монтажных работ в морских и речных портах, на судостроительных и судоремонтных заводах и в плавучих доках, при строительстве гидротехнических сооружений.

Портальные краны состоят из передвигающегося по подкрановым путям портала и установленной на нем поворотной части со стреловой системой. Перегрузочные портальные краны выполнены в крюковом или грейферном, а монтажные – в крюковом исполнении. Порталы кранов бывают трех- и четырехопорными с шириной колеи подкранового пути 6; 10,5 и 15,3 м для размещения под порталом одного, двух или трех железнодорожных путей.

Поворотная часть крана опирается на опорно-поворотное устройство в виде поворотной платформы неподвижной или вращающейся колонны. Грузоподъемность перегрузочных кранов 5...40 т, монтажных – до 300 т с максимальным вылетом стрелы до 40 м. Строительные портальные краны как правило имеют грузоподъемность 10...20 т. В зависимости от вылета стрелы она может быть переменной. Величина максимального вылета данных кранов зависит от ширины плотин и достигает 50 м, высота подъема крюка над подкрановыми рельсами —36 м. Для обеспечения высокой производительности при таких больших высотах подъема строительные краны имеют такие же высокие скорости подъема, как и перегрузочные краны (до 1,5 – 2 м/с). Строительные краны выполняются только крюковыми. Порталы их имеют большую высоту, так как под ними могут перевозиться по эстакаде арматурные фермы и обечайки трубопроводов к турбинам электростанций [1, 2].

Конструктивные особенности портального крана. Объектом рассмотрения в данной работе является портальный кран с шарнирно-сочлененной стрелой, представленный на рисунке 1. Такая конструкция крана позволяет наиболее аккуратно, а главное быстро переместить тяжелый груз с одного места на другое с минимальным риском нанесения повреждений и падений. Данный кран позволяет осуществлять транспортировку груза как в вертикальной, так и горизонтальной плоскости.



1 - портал; 2 - поворотная платформа; 3 - каркас; 4 - уравнивающее устройство; 5 - стрела; 6 - хобот; 7 - жесткая оттяжка; 8 - грейфер; 9 - реечный механизм привода стрелы

Рис. 1 – Портальный грейферный кран

Данный тип кранов имеет механизмы подъема, изменения вылета, поворота и передвижения. Ходовая часть хорошо сбалансирована, вследствие чего уменьшается нагрузка на подкрановые пути, достигается высокая точность позиционирования груза и плавный ход механизмов портального крана. Кран имеет наиболее прочные узлы соединения, выполненные из высококачественных современных материалов. Для уменьшения нагрузок на механизм изменения вылета, обеспечения устойчивости крана и безопасности работы, стреловое устройство портальных кранов уравнивают подвижными противовесами [1, 2].

Виды электродвигателей (ЭД), используемых в механизмах подъема.

Эффективность работы и производительность кранов во многом зависят от используемых ЭД. Крановые ЭД работают, как правило, в повторно-кратковременном режиме при широком регулировании частоты вращения, со значительными перегрузками, частыми пусками, реверсами и торможениями в условиях повышенной тряски и вибраций.

В связи с этим по своим технико-экономическим показателям и характеристикам крановые ЭД значительно отличаются от ЭД общепромышленного исполнения. Основные особенности крановых ЭД: закрытое исполнение; класс нагревостойкости F или H; минимальный момент инерции ротора; небольшие частоты вращения; для большой перегрузочной способности по моменту большой магнитный поток; кратковременные перегрузки для ДПТ по моменту в часовом режиме 2,15...5,0, а для АД – 2,3...3,5; отношение максимально допустимой частоты вращения к номинальной для ДПТ 3,5...4,9, для АД – 2,5 [1, 2].

В ЭП механизмов подъема кранов применяют двигатели постоянного тока с независимым и последовательным возбуждением, асинхронные двигатели (АД) с фазным и короткозамкнутым ротором, а также многоскоростные двигатели.

Режим работы и нагрузочная диаграмма ЭП механизма подъема. Цикл работы крана, перегружающего сыпучий материал (уголь, руду, песок, щебень, гравий т. п.), состоит из ряда операций, последовательно или одновременно выполняемых грузовой (грейферной) лебедкой и механизмами поворота и изменения вылета стрелы.

Механизмы крана в течение цикла выполняют следующие операции: а) для грузовой лебедки: спуск незагруженного грейфера; процесс перегрузки; спуск груженого грейфера; подъем незагруженного грейфера; б) механизм поворота крана: поворот с груженым

грейфером; поворот с пустым (незагруженным) грейфером; в) механизм изменения вылета стрелы: уменьшение или увеличение вылета стрелы с грузом захватным устройством; увеличение или уменьшение вылета стрелы с пустым захватным устройством; г) работа грейфера: зачерпывание (захват груза грейфером); раскрытие (освобождение грейфера от груза).

Длительность операций зависит от скорости рабочих движений, продолжительности пуска и торможения электродвигателей. Схема технологического процесса работы портального крана показана на рисунке 2.

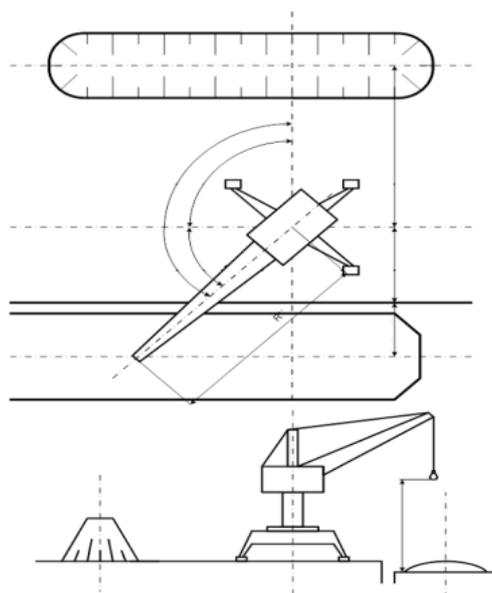


Рис. 2 – Схема технологического процесса работы крана

Нагрузочная диаграмма ЭП механизма подъема портального крана представлена на рисунке 3.



Рис. 3 – Нагрузочная диаграмма ЭП подъема портального крана

t_0 - время спуска незагруженного грейфера; t_{01} -время стоянки под погрузкой;

t_{02} - время подъема груженого грейфера; t_{03} - время поворота портального крана;

t_{04} - время, затрачиваемое на увеличение вылета стрелы; t_{05} - время спуска груженого грейфера; t_{06} - время стоянки под разгрузкой; t_{07} - время подъема незагруженного грейфера; t_{08} - время, затрачиваемое на уменьшение вылета стрелы; t_{09} - время поворота портального крана.

В существующих портальных кранах применяются релейно-контакторные системы управления, обладающие недостатками. Эти недостатки являются существенными и негативно сказываются на работе ЭП в целом. Для устранения этих недостатков целесообразно использовать систему управления на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и преобразователем частоты (АД – ПЧ) [3, 4].

Преимущества частотного регулирования прежде всего заключается в управлении электродвигателем с помощью ПЧ и предполагает автоматизацию всей его работы, включая пуск, торможение, реверс и изменение скорости вращения электродвигателя, что позволит обеспечить работу оборудования в наиболее эффективном режиме. Благодаря ПЧ, можно ограничить пусковой ток, реализовать плавный пуск двигателя и снизить потребление электроэнергии. Этот способ регулирования скорости также повышает безотказность работы и долговечность ЭП. ПЧ создает возможность управления скоростью ЭД в соответствии с характером нагрузки, что в свою очередь позволит избежать сложных переходных процессов [3, 4].

В качестве источников питания кранов в настоящее время используют ПЧ, выполненные на мощных полупроводниковых приборах. Для лучшего использования двигателя и получения высоких энергетических показателей его работы – коэффициента мощности, КПД и перегрузочной способности – одновременно с частотой необходимо изменять и подводимое к двигателю напряжение. Соотношение частоты и напряжения, называемое часто законом частотного регулирования, определяется характером зависимости момента нагрузки M_C от скорости. В зависимости от видов нагрузки закон управления напряжением и частотой имеет различные формы. Частотный привод поможет получить: высокую плавность регулирования; сохранить жесткость механических характеристик ЭД; практически исключить дополнительные потери мощности при малых скольжениях; реализует двухзонное регулирование; высокую перегрузочную способность и экономичность [4].

Заключение. Целесообразно использование частотных ЭП для портальных кранов и применение такого закона частотного управления, при котором во время всего технологического процесса сохраняется постоянство статического момента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Электропривод крановых механизмов. [Электронный ресурс]. URL: <https://studfiles.net/preview/540058/page:13/>.(дата обращения 19.10.2024).
2. Петухов, П.З. Специальные краны [Текст] / П.З. Петухов, Г.П. Ксюнин, Л.Г. Серлин // М.: Машиностроение, 1992.–187с.
3. Белов, М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для студ. высших учеб. заведений /М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов.–3-е изд., испр.–М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 576с.
4. Анучин, А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов [Текст] /А.С. Анучин //М.: Издательский дом МЭИ, 2015.–373 с.

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МЕТОДА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ РОМБИЧНОСТИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Назаров Д.Е., Полещенко Д.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
nazarov2002.nazarov@yandex.ru, po-dima@yandex.ru*

***Аннотация.** В статье представлена разработка интеллектуального метода для детектирования дефекта ромбичности заготовок с использованием технологий машинного зрения и нейронных сетей. Метод основан на обработке изображений заготовок и применении глубокой сверточной нейронной сети для анализа геометрических параметров поперечного сечения. Алгоритм позволяет автоматически распознавать и классифицировать дефекты ромбичности, обеспечивая высокую точность и скорость анализа. Представленные результаты экспериментов демонстрируют эффективность предложенного подхода. Разработка способствует повышению уровня автоматизации производственных процессов и снижению вероятности появления дефектов в готовых изделиях, что улучшает общую производительность и качество продукции. Помимо этого, внедрение разрабатываемого метода позволит накопить критический объём данных, благодаря которому появится возможность более точно определять факторы, по которым происходит формирование ромбичности и более успешно бороться с этими негативными факторами.*

Ключевые слова: МНЛЗ; непрерывная разливка стали; ромбичность заготовки; машинное обучение; дефекты заготовок; свёрточные нейронные сети; YOLO; предварительно обученные модели.

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT METHOD FOR DETECTING THE RHOMBICITY OF A CONTINUOUSLY CAST WORKPIECE

Nazarov D. E., Poleshchenko D.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. *The article presents the development of an intelligent method for detecting a defect in the rhombicity of workpieces using machine vision technologies and neural networks. The method is based on the processing of images of workpieces and the use of a deep convolutional neural network to analyze the geometric parameters of the cross section. The algorithm allows you to automatically recognize and classify rhombic defects, ensuring high accuracy and speed of analysis. The presented experimental results demonstrate the effectiveness of the proposed approach. The development helps to increase the level of automation of production processes and reduce the likelihood of defects in finished products, which improves overall productivity and product quality. In addition, the implementation of the developed method will allow to accumulate a critical amount of data, thanks to which it will be possible to more accurately determine the factors that cause the formation of rhombicity and more successfully combat these negative factors.*

Keywords: CCM; continuous casting of steel; rhombicity of the workpiece; machine learning; defects of workpieces; convolutional neural networks; YOLO; pre-trained models.

Введение

Качество готового проката в значительной мере определяется качеством исходной заготовки, полученной на выходе МНЛЗ. Своевременное выявление дефектных заготовок позволяет оперативно исключить их из производственного процесса, что способствует повышению среднего качества конечной продукции. Дефекты заготовок можно разделить на несколько основных категорий: поверхностные дефекты, дефекты торцов, внутренние дефекты и дефекты формы (геометрии). Одним из наиболее распространённых дефектов геометрии является ромбичность, представляющая собой искажение профиля заготовки. Этот дефект может возникать как в кристаллизаторе, так и на последующих этапах технологической цепочки, включая зону вторичного охлаждения непрерывнолитых заготовок [1].

Ключевыми причинами появления данного дефекта считаются неравномерное первичное охлаждение, некорректная настройка поддерживающих роликов, недостаточное или неравномерное вторичное охлаждение, а также слишком высокая скорость разливки. Согласно техническим нормативам, допустимое искривление заготовки не должно превышать 5 %, превышение этого значения может создать трудности при горячей прокатке [2].

В настоящее время отсутствуют автоматизированные методы для обнаружения данного дефекта. Контроль качества заготовок осуществляется с применением контактных измерительных приборов и с привлечением человеческих ресурсов. В статье представлен метод автоматизированного детектирования ромбичности непрерывнолитых заготовок с

использованием сверточных нейронных сетей, основанных на предварительно обученной модели и разработанном математическом алгоритме.

Математическая модель расчёта искривления

Основа разрабатываемого метода базируется на детектировании заготовки, движущейся по поверхности рольганга и последующем распознавании её наблюдаемой поверхности при помощи средств видеofиксации. Из-за особенностей технологического процесса расстояние от заготовки до наблюдателя может меняться с течением времени, на рисунке 1 представлено схематичное представление рольганга, по которому движется заготовка (вид сверху).

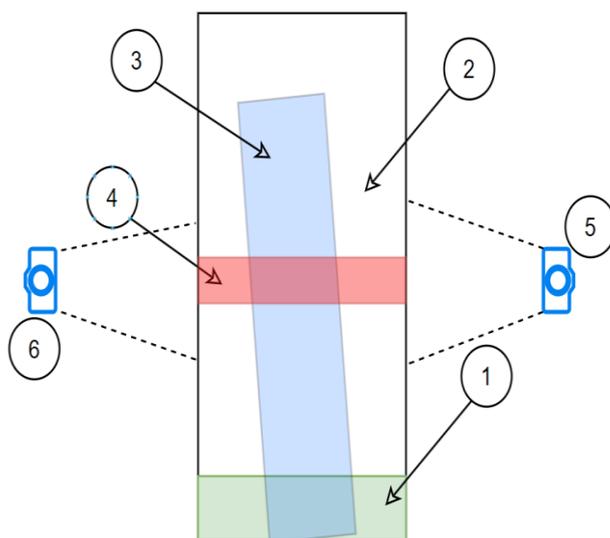


Рис. 1 – Схематичное изображение положения заготовки на рольганге

На данном условном изображении цифрой 1 обозначена зона вытяжки и правки (место откуда будет двигаться заготовка), цифрой 2 обозначен рольганг, цифрой 3 обозначена непосредственно заготовка, которая отклонилась на определённый градус, относительно прямой траектории движения, а цифрой 4 – зона наблюдения (место, где будет происходить детектирование положения при помощи камер, которые обозначены цифрами 5-6 и определение наблюдаемой длины заготовки для последующего вычисления искривления).

После получения изображения заготовки в зоне наблюдения кадр подаётся на нейросетевую модель, где происходит классификация объектов на заготовку, полотно по которому движется заготовка, границу между заготовкой и рольгангом, а также на границу со всеми остальными, не интересующими нас объектами.

Поскольку расстояние от камер до заготовки на рольганге будет изменяться в зависимости от положения заготовки, появляется необходимость ввести определённый коэффициент масштабирования, который будет согласовать между собой камеры для корректного расчёта степени искривления. Данный коэффициент вырабатывается опытным путём при первой настройке внедряемой системы. Для его получения необходимо определить допустимые координаты, в которых может оказаться заготовка и у каждой крайней точки произвести съёмку некоторого калибровочного макета, после чего разделить наблюдаемую поверхность с одной камеры, измеряемую в пикселях, на ту же наблюдаемую поверхность, но уже с другой камеры. Полученное значение имеет линейную зависимость, а значит получив данный коэффициент у крайних точек, его можно экстраполировать на всю плоскость рольганга, где может оказаться заготовка.

Получив наблюдаемую поверхность заготовки с двух камер и её положение на рольганге, а также имея шкалу с коэффициентов масштабирования рассчитываются коэффициент искривления заготовки по следующему алгоритму:

Рассчитывается масштабированная длина l' (формула 1):

$$l' = f(k) = l \cdot k, \quad (1)$$

Рассчитывается коэффициент искривления k (формула 2):

$$k = f(l, l') = \begin{cases} \frac{l'}{l}, & l' > l \\ \frac{l}{l'}, & l' < l \end{cases} \quad (2)$$

где, k - коэффициент искривления, l – не масштабируемая поверхность заготовки, l' - отмасштабированная поверхность заготовки.

Выбор нейросетевой модели

В процессе выбора модели для поставленной задачи были протестированы модели с различным количеством параметров и разной архитектуры. Помимо этого, каждая модель была обучена с разным количеством эпох обучения для получения оптимальных весовых коэффициентов модели. В качестве предобученных моделей использовались модели YOLO восьмого и девятого поколений с разным количеством параметров [3].

Для выявления оптимальной модели, которая будет решать нашу задачу, был проведён ряд экспериментов на тестовых данных. На рисунке 2 представлен результат моделей, где по оси

х время в миллисекундах, которое необходимо модели на обработку одного кадра, а по оси у качество распознавания, выраженное в процентах.

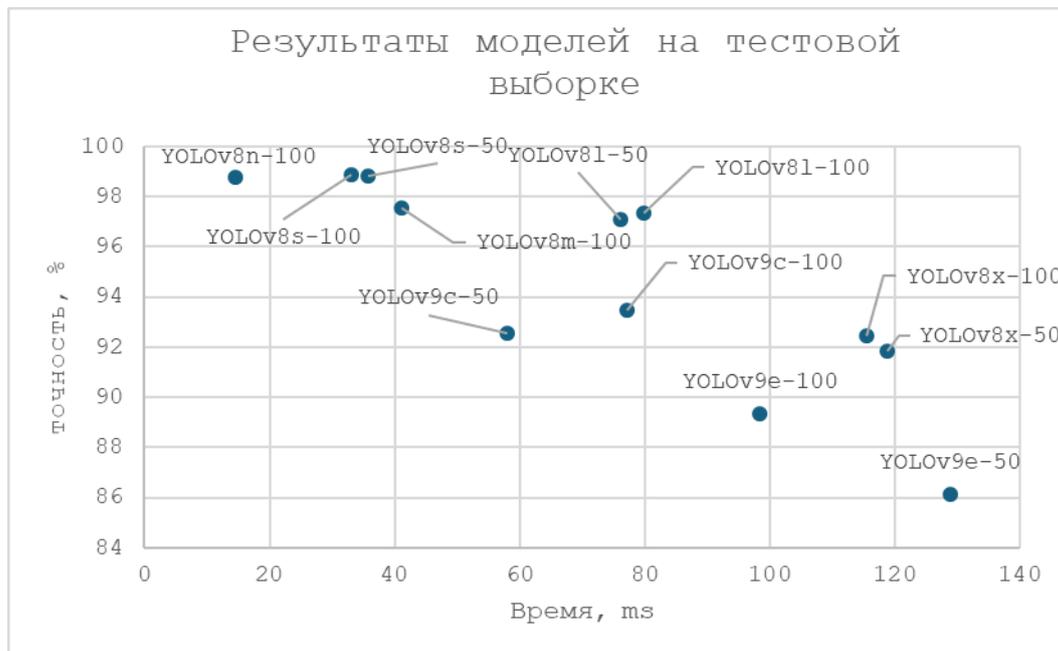


Рис. 2 – Результаты моделей на тестовой выборке

Среди протестированных моделей самую высокую точность показали следующие модели:

- YOLOv8n (100 эпох обучения)
- YOLOv8s (100 эпох обучения)
- YOLOv8s (50 эпох обучения)

И среди этих моделей YOLOv8n, обученная на 100 эпохах, показала самое низкое время обработки изображения, что даёт данной сети преимущество перед её конкурентами.

Оценка качества работы разрабатываемого метода

Для проверки теоретических расчётов был сконструирован экспериментальный макет, на котором была проведена серия опытов. В качестве заготовок использовались распечатанные на 3D принтере образцы с разной степенью искривления.

В табл. 1 представлены результаты расчёта коэффициента искривления для одной из заготовок в различных положениях на рольганге.

Таблица 1 – Результат расчёта

№ положения заготовки	Расчитанное искривление	Расчитанные диагонали, мм	Реальное искривление	Реальные диагонали, мм
-----------------------	-------------------------	---------------------------	----------------------	------------------------

1	3.17%	207.419	3.78%	206.1
		213.965		
2	3.28%	207.307		
		214.074		
3	3.41%	207.157		213.9
		214.218		
4	3.98%	206.558		
		214.796		
5	3.58%	206.970		
		214.399		

Для перехода от безразмерного коэффициента к миллиметрам была разработана шкала с точностью шага 0.2 градуса. Абсолютное отклонение не превышает 0.61%, что для заготовки со стороной 150 миллиметров является погрешность около полутора миллиметров.

При допустимом искривлении заготовки в 5% полученный результат показал высокий уровень эффективности метода, что в случае его внедрения позволит значительно повысить качество итоговой продукции металлургического предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Ботников Сергей Анатольевич, Современный атлас дефектов непрерывнолитой заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла – Издание второе. Волгоград 2011. – 91 с. – Текст: непосредственный.
2. Столяров А. М., Непрерывная разливка стали – Учебное пособие. Вологда 2020 -192 с. - Текст: непосредственный.
3. Ultralytics YOLO Docs [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.ultralytics.com/models/yolov6/> (дата обращения: 24.10.2024)
4. Джулли Антонио, Пол Суджит. Библиотека Keras - инструмент глубокого обучения – М.: Издательство «ДМК-Пресс», 2017.- 294 с. – Текст: непосредственный.
5. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/1506.02640> (дата обращения: 23.10.2024)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРУЕМОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Основина О.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
osnovin72@mail.ru*

***Аннотация.** Рассмотрена иерархическая модель системы оценки качества проектируемого программного обеспечения (ПО) и состав ключевых показателей качества: функциональность, надежность, сопровождаемость, удобство применения, мобильность и эффективности. Рассмотрены вопросы измерения и оценки качества программных систем с использованием иерархической системы характеристик качества. Приведена методика экспертизы качества ПО, которая может быть использована при решении практических задач, связанных с анализом качества программных продуктов различного назначения.*

Ключевые слова: оценка качества; программное обеспечение; метрика; характеристика качества; атрибут; экспертиза качества

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE QUALITY OF DESIGNED SOFTWARE

Osnovina O.N.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The hierarchical model of the system for assessing the quality of the designed software (SW) and the composition of key quality indicators are considered: functionality, reliability, maintainability, ease of use, mobility and efficiency. The issues of measuring and assessing the quality of software systems using a hierarchical system of quality characteristics are considered. A methodology for assessing the quality of software is given, which can be used to solve practical problems related to the analysis of the quality of software products for various purposes.*

Keywords: quality assessment; software; metric; quality characteristic; attribute; quality expertise

В системе управления качеством проектируемого ПО ключевое место занимает процесс измерения и сбора информации о состоянии комплекса программ с позиции исследования и анализа характеристик их качества и надежности [1]. Модель системы оценки качества ПО показана на рисунке 1, а эффективность этой иерархической модели и достоверность получаемых результатов будет определяться методикой оценки шести комплексных регламентированных показателей (функциональность, надёжность, практичность, эффективность, сопровождаемость и мобильность), их нормативных атрибутов и метрик, представляющих комбинацию способа измерения атрибута и шкалы измерения значений [2].

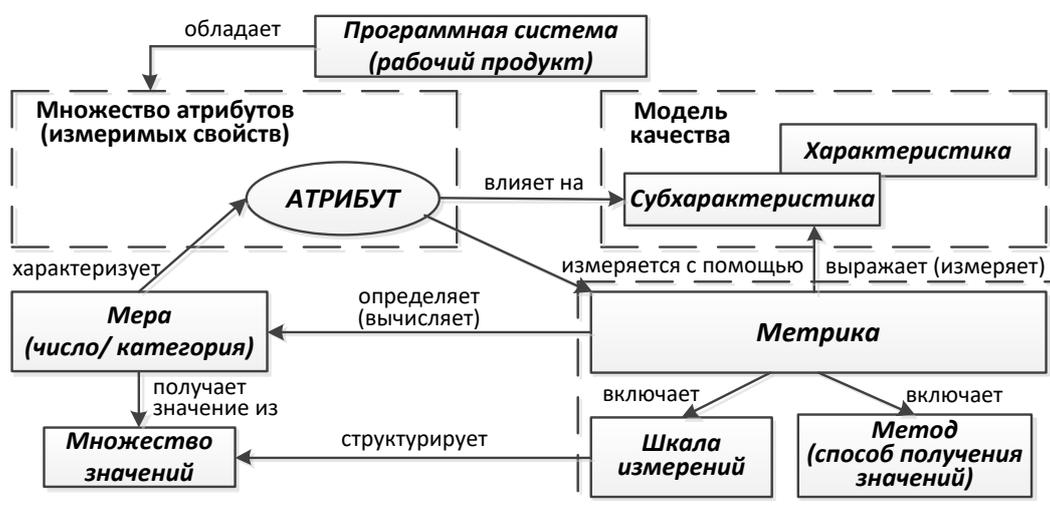


Рис. 1 – Система измерения качества ПО

Характеристики качества объединены в иерархическую систему из четырех уровней, при этом каждый показатель вышестоящего уровня определяется по связанным с ним количественным характеристикам нижестоящих уровней.

Такая система обеспечивает возможность получения интегральной оценки по иерархическим группам модели, в которые входят: характеристики качества ПО (1-й уровень), атрибуты характеристик (2-й уровень), метрики для оценки атрибутов (3-й уровень) и оценочные элементы как единичные показатели 4-го уровня. Если атрибут качества определяется всего одной метрикой, то уровень метрики опускается. Аналогично может быть опущен уровень оценочного элемента, если он один определяет заданное метрикой свойство. Число оценочных элементов, входящих в метрику, не ограничивается.

На всех уровнях показателей для метрик характеристик качества принята единая шкала оценки от 0,1 до 1, где 1 соответствует высшему качеству. Для рейтинговых оценок,

при сопоставлении нескольких программных продуктов, может использоваться другая шкала – от 0,1 до 10.

В современной мировой практике применяется несколько сотен метрик оценки качества ПО, которые можно систематизировать по следующим направлениям [3]:

- 1) оценка топологической и информационной сложности ПО;
- 2) оценка надежности ПО с возможностью прогнозирования отказов;
- 3) оценка производительности ПО;
- 4) оценка уровня языковых и инструментальных средств проектирования ПО;
- 5) оценка восприятия и понимания программной документации;
- 6) оценка производительности труда разработчиков при планировании сроков разработки ПО и распределения работ.

Метрики качества для единичных показателей определяют в зависимости от метода измерения (экспертной оценки). Метрики комплексных показателей определяют на основе связанных с ними показателей нижестоящего уровня с использованием вычислительных методов или специально разработанных правил. Для комплексных характеристик качества вычисляются средневзвешенные значения, для чего для каждого слагаемого значения характеристики более низкого уровня должны быть установлены весовые коэффициенты, определяющие значимость этой характеристики. Сумма всех весовых коэффициентов должна быть равна единице.

Правила принятия решений о подтверждении качества ПО определяют критерии, выработанные на основе требований, задаваемых базовыми (эталонными) значениями и результатов измерения (экспертной оценки) показателей качества. В процессе комплексной оценки качества ПО на каждом уровне, не считая уровни единичных характеристик, оцениваемых непосредственно, проводятся вычисления показателей качества ПО. При этом определяются абсолютные количественные значения показателей P_{ij} , где j – порядковый номер характеристики данного уровня для i -го показателя вышестоящего уровня. При этом каждая характеристика качества 1-го, 2-го и 3-го уровней определяется двумя числовыми параметрами – количественным значением оценки и весовыми коэффициентами V_{ij} . Под нулевым уровнем будем считать совокупное качество всего комплекса ПО.

Сумма весовых коэффициентов показателей уровня V_{ij} , относящихся к j -ой характеристике вышестоящего уровня ($i-1$), есть величина постоянная и принимается равной I :

$$\sum_{j=1}^n V_{ij} = 1, \quad (1)$$

где j – порядковый номер характеристики, n – число характеристик данного уровня, относящихся к i -ой характеристике вышестоящего уровня.

Комплексная оценка качества ПО в целом формируется группой экспертов по фактическому набору оценок показателей качества. Для оценки качества ПО различного назначения методом экспертного опроса необходимо составить таблицу значений базовых показателей качества ПО. Определение усредненной оценки показателя по нескольким значениям его атрибутов проводится по формуле:

$$P_{ki} = \sum_{j=1}^n V_{ij} P_{ij}, \quad (2)$$

где $k = \begin{cases} i - 1, & i > 1 \\ 0, & i = 1 \end{cases}$

Если уровень характеристики не является последним, то есть общей комплексной оценкой качества ПО в целом, то процесс подсчета характеристик в порядке повышения уровня продолжается итеративно. Общая оценка качества ПО осуществляется путем сравнения полученных расчетных значений показателей с соответствующими значениями существующего аналога или образцовой ПО, принимаемой за эталонный образец.

Значения показателей ПО должны также соответствовать значениям, отражающим современный уровень качества и прогнозируемый мировой уровень. В качестве этих систем для сравнения выбираются реально существующие ПО того же функционального назначения, с сопоставимыми основными параметрами, имеющими подобную структуру и применяемые в аналогичных условиях эксплуатации.

При выполнении практических работ по оценке качества ПО необходимо выполнить следующее [4]:

1. Выбрать показатели и атрибуты качества в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 и сформулировать их сущность. должен быть существенным, т. е. должны быть ясны потенциальные выгоды использования каждого показателя/ атрибута. Показатели представляются в виде таблицы.

2. Установить весовые коэффициенты показателей/ атрибутов с учетом правила (1).

3. Для каждого атрибута выбрать одну или несколько метрик, при выборе можно руководствоваться рекомендательным перечнем метрик, приведенным в ГОСТ 28195-89.

4. Установить весовые коэффициенты для каждой метрики с учетом правила (1).

5. Если значение метрики не было определено с помощью оценочных элементов (см. п. 6), тогда для каждой метрики определить путем измерения или экспертного заключения количественное значение от 0 до 1, исходя из следующего: 0 – качество по данной метрике является неприемлемым, 1 – отмечен очень высокий уровень качества. Можно присваивать промежуточные значения в соответствии с мнением эксперта относительно полезности проверяемого свойства ПО.

6. При необходимости декомпозиции метрики выбрать несколько оценочных элементов, установить их весовые коэффициенты, дать количественную оценку элементу и определить оценку метрики по правилу (2).

7. Определить вычислением по правилу (2) взвешенную сумму каждого атрибута качества, используя оценки метрик, определяющих этот атрибут.

8. Определить вычислением по правилу (2) взвешенную сумму каждого показателя качества, используя оценки атрибутов, определяющих этот показатель в соответствии ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93.

9. Определить совокупное качество ПО как взвешенную сумму отдельных показателей по правилу (2).

10. Представить выходные данные в виде сводной таблицы.

11. Сформулировать заключение по проведенной экспертизе качества ПО, в котором:

- дать обобщенную оценку качества ПО с точки зрения соответствия требованиям, изложенным в техническом задании или в спецификации качества;

- выделить проблемные места в иерархической системе характеристик качества, сформулировать возможные причины их появления;

- привести рекомендации по целесообразности и возможности устранения выявленных проблем в качестве ПО;

- дать общую оценку сложности и трудоемкости проведенной экспертизы качества ПО.

Приведенная методика экспертизы качества программных систем, регламентирующая вопросы выбора иерархической структуры и измерений характеристик, их атрибутов и метрик, может быть использована при решении задач, связанных с анализом качества программных продуктов различного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Липаев В.В. Сертификация программных средств. – М.: СИНТЕГ, 2010. – 348 с.
2. Перемитина Т.О. Управление качеством программных систем: учебное пособие. – Томск: Эль Контент, 2011. – 228 с.
3. Огвоздин В.Ю. Управление качеством. Основы теории и практики. – М.: Дело и Сервис, 2009. – 304 с.
4. Белик А.Г., Цыганенко В.Н. Проектирование и архитектура программных систем: учебное пособие. – Омск: Изд – во ОмГТУ, 2016. – 80 с.

МОДЕЛЬ РАЗЛИВОЧНОГО КРАНА В MATLAB SIMULINK

Петров В.А., Воробьев В.С.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
vorobev.vs@misis.ru

Аннотация. В статье рассматривается использование различных вспомогательных механизмов и технических средств для перемещения грузов большой массы в промышленности. Особое внимание уделяется мостовым и козловым кранам. Выбор конкретного типа крана и захвата зависит от специфики выполняемой задачи. Основной проблемой является возникновение колебаний груза из-за косвенного движения тали. Традиционное управление может приводить к простоям техники и снижению срока службы конструкции. Для решения этой проблемы предлагается анализ и синтез закона управления, который будет непрерывно выдавать уставку на исполнительные механизмы по входному заданию оператора крановой установки. Математическая модель мостового крана, полученная с использованием метода на основе уравнений Лагранжа второго рода, позволяет провести необходимый анализ.

Ключевые слова: мостовой кран; маятник; козловой кран; Лагранжиан; Simulink; анализ перемещения.

THE MODEL OF THE FILLING TAP IN MATLAB SIMULINK

Petrov V.A., Vorobiev V.S.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract: the article discusses the use of various auxiliary mechanisms and technical means for moving heavy loads in industry. Special attention is paid to overhead and gantry cranes. The choice of a specific type of crane and grab depends on the specifics of the task being performed. The main problem is the occurrence of fluctuations in the load due to the indirect movement of the hoist. Traditional control can lead to equipment downtime and a decrease in the service life of the structure. To solve this problem, an analysis and synthesis of the control law is proposed, which will continuously issue a setpoint to the actuators according to the input task of the crane operator.

The mathematical model of the overhead crane, obtained using the method based on Lagrange equations of the second kind, allows for the necessary analysis.

Keywords: overhead crane; Pendulum; Gantry crane; Lagrangian; Simulink; displacement analysis.

Для перемещения грузов большой массы в промышленности широко применяются различные вспомогательные механизмы и технические средства, такие как лебедки, мостовые и козловые краны (см. рис. 1). В качестве рабочего инструмента может быть использован грейфер, крюк или магнитный захват [1]. Основным негативным возмущающим фактором, вызывающим колебания груза, является косвенное движение тали. Так, при традиционном управлении колебания могут приводить к простоям техники, что составляет 20% [2] от рабочего процесса, и уменьшению срока службы конструкции.

Величина амплитуды колебаний груза зависит от длины подвеса и ускорения тали. Возможное решение в виде косвенного демпфирования груза заключается в уменьшении ускорения, но при такой стратегии управления возникает повышение времени на операцию, что приводит к снижению производительности. Также на плавность хода влияет натяжение троса, сопротивление поверхности качения, и при движении балки возникают упругие динамические нагрузки в механической передаче, что значительно усложняет создание метода управления [3–7].

Для решения необходимо произвести анализ и последующий синтез закона управления, который, в свою очередь, будет непрерывно выдавать уставку на исполнительные механизмы по входному заданию оператора крановой установки. Математическая модель мостового крана с требуемыми качествами для анализа можно получить, используя метод на основе уравнений Лагранжа второго рода. (1)

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = - \frac{\partial P}{\partial q_i} - \frac{\partial F}{\partial q_i}, \quad (1)$$

где T , P и F – кинетическая, потенциальная и диссипативная энергия, q_i – обобщенные координаты.

Для составляющих уравнения (1) необходимо представить мостовой кран в плоскости, тогда движение тали будет по пролету моста. Голономная связь в данной системе является уравнение окружности с фиксированным радиусом или длиной подвешенного груза (2).

$$\begin{cases} x_{rp} = l \times \cos(j) + x_r, \\ y_{rp} = l \times \sin(j), \end{cases} \quad (2)$$

где l – радиус или длина троса подвеса, $X_{гр}$ и x_t – горизонтальная координата линейного перемещения груза и тележки, $Y_{гр}$ – вертикальная координата линейного перемещения груза, φ – координата угла отклонения от вертикали перемещаемого груза относительно центра тележки.

Движение тали происходит по одной координате без наложения голономной связи. Для анализа интересуют две координаты положения системы, а именно линейное перемещение тали вдоль горизонтальной оси и угол отклонения от вертикали закрепляемого груза на тросе.

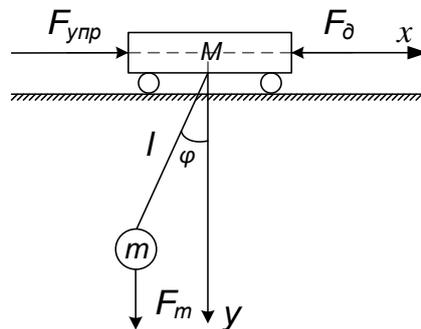


Рис. 1 - Кинематическая схема мостового крана в плоскости пролета.

На кинематической схеме представлен мостовой кран и отображены силы, воздействующие на него из вне. Исходя из кинематической схемы и предварительного анализа были получены необходимые составляющие уравнения (1). Полная кинетическая (3), потенциальная (4) и диссипативная (5) энергия системы представлены в следующем виде

$$T = \frac{M + m}{2} \dot{x}^2 + \frac{m \cdot l^2}{2} \dot{\varphi}^2 + m \cdot l \cdot \dot{\varphi} \cdot \dot{x} \cdot \cos(\varphi), \quad (3)$$

$$\Pi = -m \cdot g \cdot (1 - l) \cdot \cos(\varphi), \quad (4)$$

$$\Phi = \frac{k_1 + k_2}{2} \cdot \dot{x}^2 + \frac{k_2 \cdot l^2}{2} \cdot \dot{\varphi}^2 + k_2 \cdot l \cdot \dot{\varphi} \cdot \dot{x} \cdot \cos(\varphi), \quad (5)$$

где g – ускорение свободного падения; k_1 – коэффициент трения скольжения тележки; k_2 – коэффициент трения груза о воздух.

Подставляя в уравнение (1) найденные составляющие потенциальной, кинетической и диссипативной функции. Проведя операции дифференцирования над ними, были получены два динамических уравнения. В них были сгруппированы слагаемые с равной степенью производной. Данный прием позволяет перейти к стандартной линейной матричной форме записи механических систем

$$M(q) \cdot \ddot{q} + C(q, \dot{q}) \cdot \dot{q} + G(q) = F, \quad (6)$$

где

$$q = \begin{bmatrix} x \\ \varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{bmatrix}, M(q) = \begin{bmatrix} M + m & m \cdot l \cdot \cos(\varphi) \\ m \cdot l \cdot \cos(\varphi) & m \cdot l^2 \end{bmatrix}, G(q) = \begin{bmatrix} 0 \\ m \cdot l \cdot \sin(\varphi) \cdot g \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} f \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & k_2 \cdot l \cdot \cos(\varphi) - m \cdot l \cdot \sin(\varphi) \cdot \dot{\varphi} \\ k_2 \cdot l \cdot \cos(\varphi) & k_2 \cdot l^2 \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} f \\ 0 \end{bmatrix},$$

$M(q)$ – матрица массы, инерции, $C(q, \dot{q})$ – матрица кориолисовых, центробежных сил, $G(q)$ – вектор столбец гравитации, F – вектор силы прикладываемой к системе.

Для удобства анализа выражена вторая производная из (6) и представленная в следующей форме

$$\ddot{q} = -M^{-1}(q) \cdot C(q, \dot{q}) \cdot \dot{q} - M^{-1}(q) \cdot G(q) + M^{-1}(q) \cdot F,$$

где

$$-M^{-1}(q) \cdot C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} \frac{k_1 \cdot m - k_2 \cdot M}{m \cdot (m \cdot \sin^2(\varphi) + M)} + \frac{k_2}{m} & -\frac{m \cdot \dot{\varphi} \cdot l \cdot \sin(\varphi)}{m \cdot \sin^2(\varphi) + M} \\ -\frac{(k_1 \cdot m - k_2 \cdot M) \cdot \cos(\varphi)}{m \cdot l \cdot (m \cdot \sin^2(\varphi) + M)} & \frac{m \cdot \dot{\varphi} \cdot \sin(2 \cdot \varphi)}{2 \cdot (m \cdot \sin^2(\varphi) + M)} + \frac{k_2}{m} \end{bmatrix}$$

$$-M^{-1}(q) \cdot G(q) = \begin{bmatrix} \frac{m \cdot g \cdot \sin(2 \cdot \varphi)}{2 \cdot (m \cdot \sin^2(\varphi) + M)} \\ \frac{g \cdot (m + M) \cdot \sin(\varphi)}{l \cdot (m \cdot \sin^2(\varphi) + M)} \end{bmatrix} M^{-1}(q) \cdot F = \begin{bmatrix} \frac{f}{m \cdot \sin^2(\varphi) + M} \\ -\frac{f \cdot \cos(\varphi)}{l \cdot (m \cdot \sin^2(\varphi) + M)} \end{bmatrix}$$

Математическая модель была реализована в программной среде MATLAB Simulink. Параметры модели объекта управления взяты из паспорта мостового крана сталелитейного цеха «Кран мостовой, 260/80/10т 26,5м» (см. таблицу 1). В качестве закона управления был взят метод АКАР [8]. Его параметры были получены поисковым методом на основе генетического алгоритма.

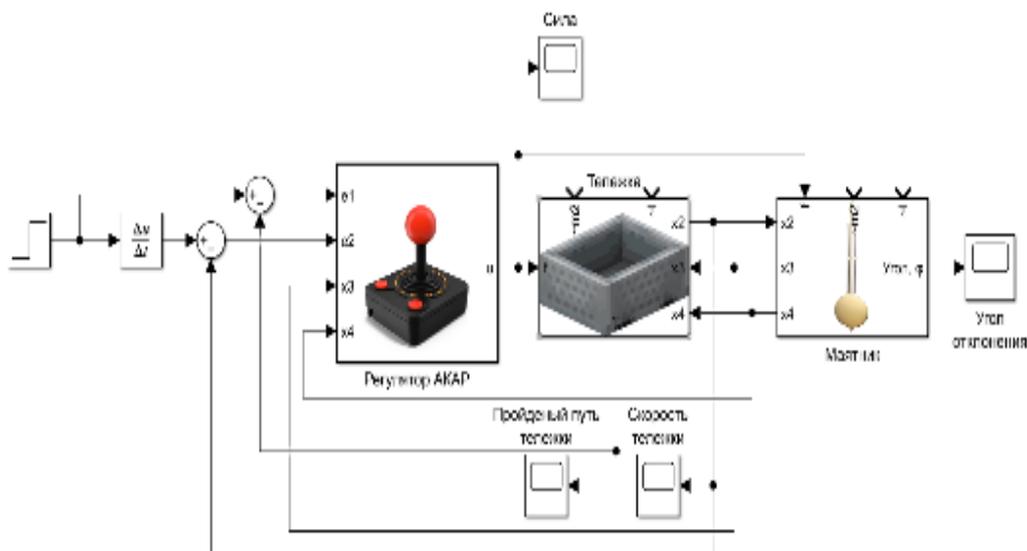


Рис. 2 – Модель мостового крана в MATLAB Simulink.

Таблица 1 – Параметры модели мостового крана.

M, т	m, т	k1,(кэф.т.к.)	k2,(кэф.т.в.)	l, m	g, m/s ²
385,3	240	0.003	2.368	5	9.81

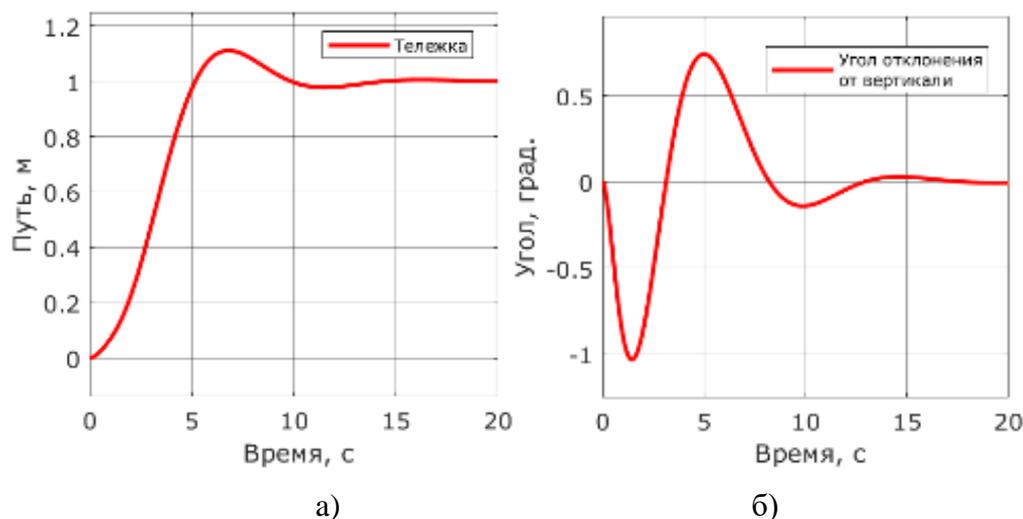


Рис. 3 – Экспериментальные данные полученной модели, а) – пройденный путь тележкой, б) – угол отклонения груза от вертикали.

Как видно из графика (см. рис. 3а), из-за большого значения ускорения возникает увеличение угла отклонения от вертикали (см. рис. 3б), что приводит к перерегулированию в конце переходного процесса. В свою очередь, оно приводит к повышению времени цикла работы крана. Из этого следует необходимость синтезировать закон управления с требуемыми качествами регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Вайнсон А.А. Крановые грузозахватные устройства / А.А. Вайнсон, А.Ф. Андреев. - «Машиностроение». 1982.
2. Yu W. Stable neural PID anti-swing control for an overhead crane / W. Yu, X. Li, F. Panuncio // *Intell. Autom. Soft Comput.* –20. 2014. pp. 145–158.
3. Лобов, Н.А. Динамика грузоподъёмных машин текст / Н.А. Лобов. - М.: Машиностроение, 1987. 160 с.
4. Лобов, Н.А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути текст / Н.А. Лобов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана 2003. - 230 с.
5. Балашов В П. Боковые силы в кранах мостового типа в периоды пуска и торможения / В.П. Балашов // *Тр. ВНИИПТмаша.* 1970. - Вып. 5 (100). - С. 45-59.
6. Балашов, В.П. Исследование динамических характеристик металлоконструкций мостовых кранов / В.П. Балашов // *Тр. ВНИИПТмаша.* 1969. - Вып. 7 (94). Исследование крановых металлоконструкций. - С. 91-127.
7. Балашов, В. П. Нагрузки кранов мостового типа при раздельном приводе механизма передвижения / В.П. Балашов // *Тр. ВНИИПТмаша.* 1970. - Вып. 1 (96). Надежность подъемно-транспортных машин. - С. 96-103.
8. Петров, В. А., Воробьев, В. С. Синтез нелинейного закона управления системой тележка-маятник на основе метода АКАР / В. А. Петров, В. С. Воробьев [Текст] // XIV Всероссийское совещание по проблемам управления. — Москва:ИПУ РАН, 2024. — С. 146-150.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РАЗЛИВКИ СТАЛИ НА ДЕФЕКТЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Полещенко Д.А., Рукавицын К.О.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

***Аннотация.** Рассмотрены работы, в которых изучено влияние автоматизированной системы управления тянуще-правильным механизмом на качество непрерывнолитого металла. Определено, что важным критерием для исключения неметаллических включений является соблюдение скоростного режима между заданным и фактическим значениями. Изучены существующие методы борьбы с износом роликов, как одним из факторов отклонения скоростей, сделан вывод, что они все направлены на устранение последствий, а не на устранение первопричины. Предложено направление исследований к построению автоматизированной системы управления скоростью приводных роликов тянуще-правильного механизма.*

Ключевые слова: дефекты непрерывнолитой заготовки; машина непрерывного литья заготовок; система управления; тянуще-правильная машина; рассогласование скоростей.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE AUTOMATED STEEL CASTING PROCESS CONTROL SYSTEM ON CONTINUOUS CAST BILLET DEFECTS.

Poleshchenko D.A., Rukavitsyn K.O.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The papers review the works that studied the influence of the automated control system of the pull-straightening mechanism on the quality of continuously cast metal. It was determined that an important criterion for eliminating non-metallic inclusions is compliance with the speed mode between the specified and actual values. The existing methods of combating roller wear as one of the factors of speed deviation were studied, and it was concluded that they are all aimed at eliminating the consequences, but not at eliminating the root cause. The research direction*

to construction of the automated system of control of speed of drive rollers of the pull-straightening machine is offered.

Keywords: defects of continuous cast billet; continuous casting machine; control system; pull-straightening machine; speed mismatch.

Для развития потенциала металлургической отрасли важное значение имеет повышение качества непрерывнолитого металла. Особое внимание можно уделить таким дефектам сляба, как наличие неметаллических включений, налипание на нем окалины и шлака, наличие рельефных деформаций на поверхности заготовки. Формирование надлежащего качества продукции является многофакторным технологическим процессом, на который оказывают влияние следующие характеристики тянуще-правильного механизма (ТПМ) машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ): состояние поверхности роликов, усилия прижатия роликов на заготовку и вытягивания заготовки.

Авторы работы [1] пришли к выводу, что колебания уровня металла в кристаллизаторе, вызванные нестабильной скоростью вытягивания заготовки за счет проскальзывания и пробуксовки (при несовпадении линейных скоростей слитка и бочек роликов), способствуют неравномерному попаданию большого количества гетерогенной шлакообразующей смеси в зазор между сформированной заготовкой и стенкой кристаллизатора, а также утолщению затвердевшей стеклообразной массы, неравномерно распределяющейся по периметру поверхности заготовки, нарушая при этом процесс теплоотвода.

Анализ публикаций [2-4] показал, следующие проблемы, которые не позволяют разработать алгоритм непосредственного управления скоростью роликов ТПМ:

1) Наличие нескольких режимов работы ТПМ, в каждом из которых нагрузки и требования к приводу различны: режим введения и вывода затравки, режим вытягивания слитка; режим холостого хода.

2) Налипание окалины, которая провоцирует дефект «вмятая окалина» на непрерывнолитой заготовке и еще больше разрушает поверхность ролика.

3) Отсутствие обоснованных технологических требований к электроприводу роликов с позиции снижения интенсивности износа бочек роликов.

Установлено [2], что наибольшему износу роликов МНЛЗ подвержены тянущие ролики первой секции горизонтальной части зоны вторичного охлаждения и криволинейной секции. Установлено, что отсутствие компенсации износа приводит к возникновению дополнительных продольных усилий в слитке, ухудшающих характеристики заготовки.

В работе [5] приводится анализ зависимости динамического коэффициента трения (μ) между роликом и металлом от разности скоростей (ΔV), показывающий, что в режиме сцепления коэффициент трения прямо пропорционален рассогласованию скоростей (зона I на рисунке 1). При проскальзывании слитка с увеличением рассогласования коэффициент трения падает (зона II на рисунке 1). Возрастание силы трения даже при малом рассогласовании интенсифицирует износ.

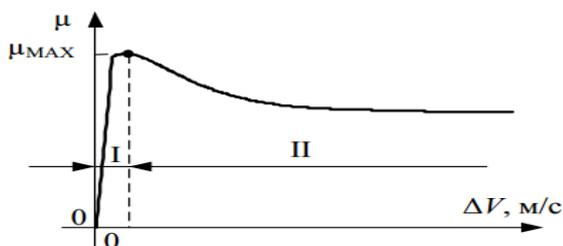


Рис. 1 – Зависимость динамического коэффициента трения от рассогласования скорости подката и линейной скорости вращения ролика

Однако, существует необходимость в расчете требуемого рассогласовании скоростей для создания усилия стопорения и сцепления слитка, так слишком низкий коэффициент трения при минимальном рассогласовании может привести к нарушению технологического процесса (прорыв ручья) и длительному простоем оборудования для устранения аварийной ситуации.

Известен метод снижения интенсивности износа нанесением на поверхность ролика упрочняющего слоя [6-8]. Тогда предельно допустимая величина износа может лимитироваться глубиной данного слоя.

Несмотря на то, что срок службы роликов повышается, приведенные методы не устраняют основной причины интенсивного износа роликов – наличия рассогласования скоростей в режиме вытягивания слитка.

Также ведутся разработки в области создания системы поддержки принятия решений при управлении машинами непрерывного литья [9-11]. Такие системы на основании технологических параметров разливки должны обнаруживать возникающие дефекты на ранних стадиях, своевременно и быстро предупреждать дежурный персонал о факторах риска и предсказывать поломки оборудования.

В работах [9, 11] рассматриваются вопросы разработки системы диагностирования состояния оборудования электропривода тянущих роликов МНЛЗ. По результатам проверки точности диагностирования дефектов привода, разработанная методика с вероятностью 92% и выше позволяет выявить износ, прогиб, периодическую буксовку, случайную буксовку,

дефект навесного редуктора или зубцевые биения в навесном редукторе. Результаты были получены на основании авторегрессионной модели, путем анализа электромагнитного момента, развиваемого приводом.

На основании вышеуказанного, можно сделать вывод, что существующие методы борьбы не позволяют устранить проблемы, связанные с износом роликов, либо не позволяют выявить и устранить основную причину ускоренного износа – рассогласование скоростей, поэтому их применение ограничено в сложных системах, параметры которой могут изменяться со временем, а также влиять друг на друга и на качество выпускаемой продукции.

Для решения вышеуказанных проблем, необходимо разработать такую систему управления скоростным режимом приводных роликов ТПМ, которая обеспечит:

- 1) минимизировать рассогласование скоростей, с учетом создания необходимых сил стопорения для предотвращения прорыва ручья;
- 2) по скорости движения слитка, наличию проскальзываний определить наличие дефектов и скорректировать задающие значения системы управления для их предотвращения.

В настоящее время в процессе непрерывного литья заготовок используется компьютерное зрение с целью оперативного предупреждения персонала о возникновении прорыва ручья МНЛЗ. В работах [12, 13] рассматривалась система предиктивной диагностики прорыва на основании показаний датчиков термпар, установленных в зоне кристаллизатора, а также данных, полученных с видеокамер. Нейросетевая модель, входами которой являлись температура в кристаллизаторе на каждой термопаре, скорость литья, уровень металла в кристаллизаторе, температура промежуточного ковша и положение шиберного затвора, на выходе давала информацию о вероятности возникновения аварийной ситуации. Авторы работ заявили о высокой достоверности полученных предупреждений об авариях, а также о низком количестве ложных срабатываний.

Для обеспечения стабильной работы МНЛЗ и предотвращения не только аварийных ситуаций, но и возможных дефектов слитка существует необходимость в корректировке управляющих воздействий, в частности скорости движения слитка, путем использования компьютерного зрения для ее контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Смирнов А. Н. Анализ основных причин образования запрессованных скоплений окалины и шлака на поверхности непрерывнолитого сляба / А. Н. Смирнов, Е. Н.

Максаев, Г. Я. Довгалюк // Сб. науч. тр. Донбас. гос. техн. ун-та. Вып. 36. - Алчевск, 2012. - С. 248-257

2. Лукьянов, С.И. и др. Система управления электроприводом тянущих роликов машины непрерывного литья заготовок / С.И. Лукьянов, Н.В. Швидченко, Р.С. Пишнограев, Д.В. Швидченко, С.С. Красильников// Промышленная электроника, автоматика и системы управления. – 2019. – №3(44). – С.53-62

3. Лукьянов, С.И. и др. Методика распределения электроприводов тянущих роликов на машине непрерывного литья заготовок / С.И. Лукьянов, Д.С. Лукьянов, О.С. Логунов, Г.В. Никифоров, С.С. Красильников// Теория и практика автоматизированного электропривода – 2017. – №2(35). – С.4-12

4. Огарков, Н.Н., Платонов, С.И., Суфьянов, Д.В. Выбор наплавочных материалов для роликов машин непрерывного литья заготовок с повышенной износостойкостью и термостойкостью // Перспективные материалы и технологии – 2017. – С. 244-246

5. Лукьянов, С.И. и др. Снижение интенсивности износа бочек роликов отводящего рольганга средствами электропривода / С.И. Лукьянов, Н.В. Швидченко, Р.С. Пишнограев, Д.В. Швидченко// Механическое оборудование металлургических заводов. – 2012. – №1. – С.73-79

6. Жиркин, Ю.В. Надежность металлургических машин. Ч.1: Основы теории надежности: Учеб. Пособие/ Ю.В. Жиркин. – Магнитогорск: МГМИ, 1994. – 52 с.

7. Жиркин, Ю.В. Надежность металлургических машин. Ч.2: Эксплуатационная надежность. Оценивание показателей безотказности: Учеб. пособие./ Ю.В. Жиркин. – Магнитогорск: МГМА, 1995. – 60 с.

8. Колмыков, Д.В. О методах упрочняющей обработки стальных изделий / Д.В. Колмыков, В.В. Катенев, Е.А. Косинов. // Auditorium. – 2016. – №4(12). – С. 54-56.

9. Турченко, Е.А., Шептура, А.А. Разработка структуры системы поддержки принятия решений при управлении непрерывным литьем заготовок / Искусственный интеллект – 2011 – №.1. – С. 255-259.

10. Лукьянов, С.И. и др. Система контроля технического состояния механического оборудования электропривода тянущих роликов МНЛЗ/ С.И. Лукьянов, Е.С. Суспицын, М.В. Коновалов, С.С. Красильников// Механическое оборудование металлургических заводов – 2012 – №.1. – С. 79-83

11. Лукьянов, С.И. и др. Система диагностирования состояния оборудования электропривода тянущих роликов слябовой МНЛЗ/ С.И. Лукьянов, Е.С. Суспицын, Р.С. Пишнограев, М.В. Коновалов, // Актуальные вопросы автоматизированного электропривода – 2010 – №.3. – С. 79-83

12. Liu Y., Wang X., Du F. et al. Computer vision detection of mold breakout in slab continuous casting using an optimized neural network // Int J Adv Manuf Technol – 2017. - №88 – P. 557–564.
13. Ansari M.O., Ghose J.; Chattopadhyaya S. et al. An Intelligent Logic-Based Mold Breakout Prediction System Algorithm for the Continuous Casting Process of Steel: A Novel Study. // Micromachine. - 2022. - №13 (2148).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СИГНАЛА К ДАННЫМ, ПОЛУЧЕННЫМ С МАНИПУЛЯТОРА СЛИВНОЙ ТРУБЫ

Полезченко Д.А., Коврижных Ю.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
po-dima@yandex.ru, kovrizhnykh.yuriy@gmail.com*

***Аннотация.** В статье рассмотрена проблематика процесса слива металла из сталеразливочного ковша в промежуточный ковш. В работе рассмотрены существующие методы анализа сигнала виброускорения и их недостатки. Выбран лучший из них, и рассмотрен метод его улучшения.*

Ключевые слова: непрерывная разливка стали; вибрационный метод; критерии отсечки шлака; масса плавки.

APPLICATION OF SIGNAL ANALYSIS METHODS TO DATA OBTAINED FROM THE DRAIN PIPE MANIPULATOR

Poleshchenko D.A., Kovriznich Y.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The paper considers the problematics of the process of draining metal from the steel ladle into the intermediate ladle. The paper considers the existing methods and their shortcomings. The best of them is chosen and the method of its improvement is considered.*

Keywords: continuous steel casting; vibration method; slag cut-off criterion; melting weight.

Перелив металла из сталеразливочного ковша в промежуточный ковш является наиболее важным технологическим процессом для предотвращения попадания неметаллических частиц в конечный продукт. Ключевым действием является момент закрытия шибера стальной ковша. В случае слишком раннего закрытия в стальной ковше остается качественный металл, который сливается вместе со шлаком. В случае позднего закрытия

шлак, плавающий на поверхности чистого металла, засасывается через воронку в промежуточный ковш, и имеется высокая вероятность попадания его в литую заготовку.

Для решения вопроса с моментом закрытием воронки для исключения попадания в нее шлака и других неметаллических включений существует несколько способов:

1. Электромагнитный. Суть этого метода заключается в проводимости чистого металла и с различными включениями. На сливную трубу устанавливается электромагнитная катушка, которая ловит малейшие изменения в электропроводимости сердечника, а в роли которого выступает сливная труба с металлом внутри нее. Недостатком этого метода является позднее обнаружение в потоке металла лишних примесей.

2. Гравиметрический. Заключается в математическом расчете массы шлака находящийся в сталковше. Минусом является человеческий фактор во время проведения измерения и погрешности во время расчетов. Результатом может оказать слишком раннее закрытие шибера, или наоборот слишком позднее закрытие.

3. Вибрационный. Смысл этого метода заключается в изменении вибрации сливной трубы под действием потока чистого металла и в момент образования воронки. Недостатком метода является отсутствие готовых решений по анализу вибрации сливной трубы.

Имея в виду вышесказанное, предметом научного исследования является разработка метода анализа вибрации сливной трубы для идентификации момента закрытия шибера сталковше для исключения попадания неметаллов. Сложность данного исследования заключается в большом количестве «шумов», создаваемых различными агрегатами в цеху, амплитуда которых соизмерима или даже превосходит амплитуда вибрации сливной трубы.

Для лучшего понимания процесса слива металла были проведены измерения на реальном объекте. В качестве эксперимента был выбран Электросталеплавильный цех, Оскольского электрометаллургического комбината, который обладает пятью машинами непрерывной разливки, стали. На одну из таких машин были установлены 3 датчика вибрации с различной осевой чувствительностью, для нахождения лучшего показателя амплитуды. Все датчики были закреплены на манипулятор сливной трубы с помощью которого сливная труба устанавливается на сталковш.

В ходе эксперимента были получены данные о вибрации на сливе четырех сталковшей. После слива каждого ковша сливная труба отсоединялась от шибера, пустой сталковш менялся на новый, сливная труба, с помощью манипулятора, присоединялась к шиберу и процесс слива начинался заново, с новым сталковшом. Данные с датчиков были получены в частотном диапазоне от 0,5 до 15 000 Гц.

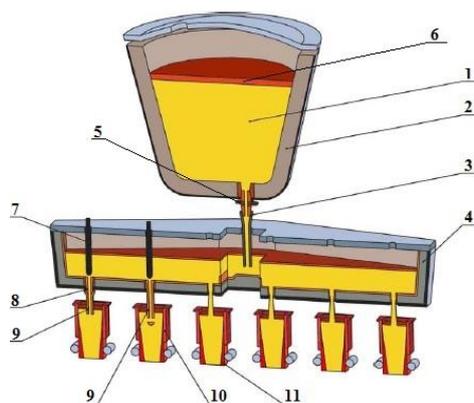


Рис. 1 – Процесс слива металла из стального ковша через промежуточный ковш в кристаллизатор.

1 – жидкий металл, 2 – стальной ковш, 3 – сливная труба, 4 – промежуточный ковш, 5 – шлибер стального ковша, 6 – шлак, 7 – стопор, 8 – отверстие для слива металла в кристаллизатор, 9 – сливной стакан, 10 – кристаллизатор, 11 – ролики обжатия и придания формы.

После съема данных были построены графики амплитуды вибрации. Каждый график строился с датчиков разной чувствительности. На рис 2 показан уровень вибрации с одного из датчиков. Шлак пошел на 325 секунде с момента начала анализа сигнала. Как видно из графика амплитуда вибрации от других агрегатов заглушает информативный сигнал от сливной трубы. В результате было принято решение о проведении экспериментов по методам анализа сигнала для выявления скрытых закономерностей.

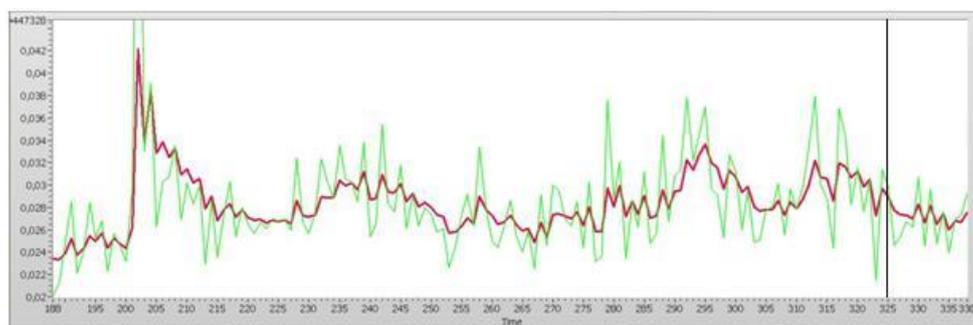


Рис. 2 – Сигнал с датчика вибрации чувствительностью 100 пКл/г

В ходе проведенных экспериментов были проанализированы такие методы обработки сигнала как: дисперсия случайной величины, спектральная плотность мощности, квадратичное усреднение, коэффициент эксцесса, асимметрия и энтропия сигнала. Во всех экспериментах подавались 3 сигнала с датчиков разной чувствительности для определения лучшего метода анализа и лучшего датчика.

Лучшим из датчиков оказался датчик с осевой чувствительности 100 пКл/г, так как он не подвержен сильным шумам от агрегатов в цеху, и в то же время обладает высокой

чувствительностью для определения вибрации от возникновения воронки в сталковше. А лучшим из методов анализа сигналов оказался метод, основанный на энтропии сигнала.

Энтропия в теории информации – это мера неопределенности системы в данном случае сигнала виброускорения поверхности манипулятора защитной трубы. Для анализа будет использована функция энергии энтропии сигнала вибрации (ЭЭСВ).

После проведения анализа сигнала с реальных данных получили график энергии энтропии сигнала вибрации, на котором было видно, что перед попаданием шлака в промежуточный ковш, на 35 такте, уровень ЭЭСВ заметно падает (рис 3). Эти данные были подтверждены еще на одном эксперименте. А на двух других экспериментах на данных настройках падения ЭЭСВ не было замечено.

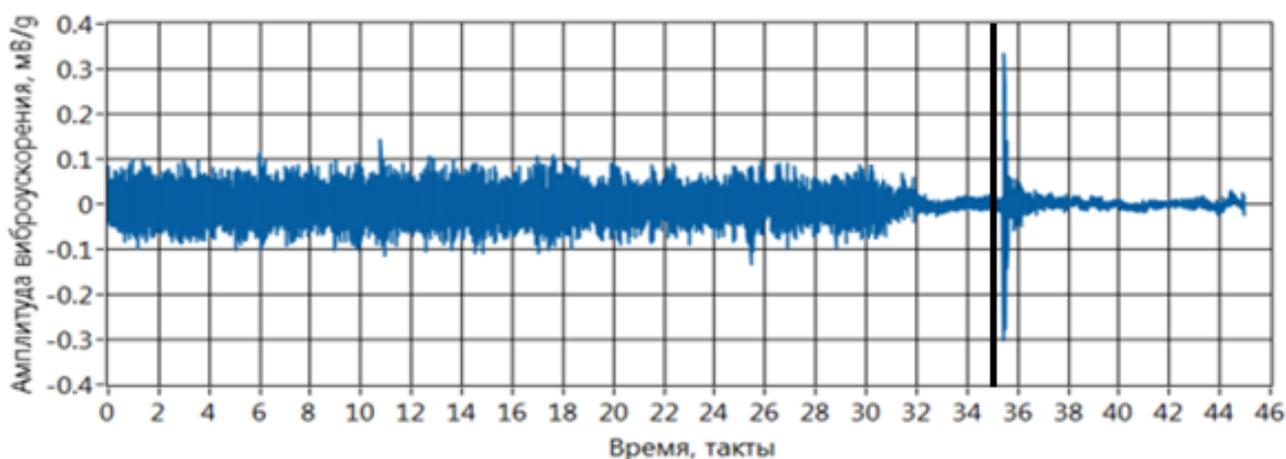


Рис. 3 – Энергия энтропии сигнала вибрации

Наличие падения энтропии сигнала на двух экспериментах говорит о возможности апробации данного метода, а отсутствие информации на двух других сигналах свидетельствует о необходимости дополнительной фильтрации сигнала для максимального исключения возмущений на всех сигналах.

Дальнейшие перспективы работы будут заключаться в изучении возможных способов цифровой фильтрации сигнала для получения информативной составляющей во всех экспериментах, а также применении нейросетевого анализа к чистому сигналу вибрации и к сигналу ЭЭСВ. В частности, будет рассматриваться метод анализа сигнала с применением автоэнкодера. Данный метод анализирует информацию для выявления закономерностей. После чего создает цифрового двойника процесса слива металла. В случае расхождения сигнала с датчика вибрации и цифрового двойника говорит об изменении условий слива металла, а частности изменением условия может быть появление воронки в сталеразливочном ковше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Jie Tao, Yilun Liu, Dalian Yang. Bearing Fault Diagnosis Based on Deep Belief Network and Multisensor Information Fusion / Tao Jie, Liu Yilun, Yang Dalian // Hindawi Publishing Corporation Shock and Vibration. – 2016. – С. 1-9.
2. Останин, С.А. Филатова, Е.В. Виртуальный прибор для оценки спектральной энтропии сердечного ритма / С.А. Останин, Е.В. Филатова // Физика. – 2016 №1-07 – С45-51.
3. Коврижных Ю.А. XII всероссийская научно- практическая конференция студентов и аспирантов. Сборник научных и научно-практических докладов. Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСиС», 2016 г. – 710 с.
4. Коврижных Ю.А., Полещенко Д.А. XIII Всероссийская научно-практическая конференция "Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство." Том 2. Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСиС», 2016г. – 320 с.
5. Коврижных Ю.А. Полещенко Д.А. XIV Всероссийская научно-практическая конференция студентов и аспирантов. Сборник научных и научно-практических докладов. Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСиС», 2017 г.
6. Jie Tao, Yilun Liu, and Dalian Yang. Bearing Fault Diagnosis Based on Deep Belief Network and Multisensor Information Fusion. August 2016.
7. Зайцев Е.А., Сидорчук В.Е., Шпилька А.Н. Приборы и методы измерений. 2016. – Т. 7, № 2. – С. 186–194.

**ТЕХНОЛОГИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ
МОДЕЛИПРОГНОЗИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ С
ОПТИМАЛЬНЫМ РАСХОДОМ ТОПЛИВА**

Рудаков В.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

vladru22072005@mail.ru

***Аннотация.** В данной статье рассматривается метод многоступенчатого нелинейного прогнозирующего управления (MPC) и его применение к системе координат и объекту с заданной скоростью. Задача связана с определением оптимального маршрута для судна, минимизируя расход топлива и учитывая дрейф. В работе рассматривается двумерный случай движения судна в плоскости xy , с учетом его положения и скорости. Используются управляющие входные данные, скорость и направление судна, а также вектор дрейфа $d(x,y)$.*

Ключевые слова: прогнозирующее управление; маршрут судна; MPC-регулятор; расход топлива; MATLAB; нелинейная система; движение в плоскости; задача Цермело.

**THE TECHNOLOGY OF A MULTI-STAGE NONLINEAR MODEL PREDICTIVE
MANAGEMENT TO SOLVE TASKS WITH OPTIMAL FUEL CONSUMPTION**

Rudakov V.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** This article discusses the method of multi-stage nonlinear predictive control (MPC) and its application to a coordinate system and an object with a given velocity. The task is to determine the optimal route for the vessel, minimizing fuel consumption and taking into account drift. The paper considers the two-dimensional case of a vessel moving in the xy plane, taking into account its position and speed. The control input data, the speed and direction of the vessel, as well as the drift vector $d(x,y)$ are used.*

Keywords: predictive control; ship route; MPC controller; fuel consumption; MATLAB; nonlinear system; motion in a plane; the task of Zermelo.

В данном примере решается специализированный вариант классической навигационной задачи Цермело с использованием многоступенчатой нелинейной модели прогнозирующего управления. Распространение алгоритмов MPC с использованием линейных прогностических моделей значительно повлияло на развитие теории и практики обратной связи в управлении. Тем не менее, многие реальные технологические процессы обладают нелинейными характеристиками, и построенные на них линейные модели не всегда соответствуют необходимым требованиям. Поэтому лучше всего для оптимизации маршрута судна с целью минимизации расхода топлива при учете воздействия дрейфа предлагается использовать многоуровневую нелинейную модель прогнозирующего управления (NMPC).

В области математической оптимизации задача навигации Цермело, предложенная в 1931 году Эрнстом Цермело, представляет собой стандартную задачу оптимального управления, связанную с перемещением судна по водной поверхности от точки А к точке В (Рис.1). При этом лодка способна развивать определенную максимальную скорость, и главная цель заключается в обеспечении максимального уровня контроля для достижения конечного пункта за наименьшее возможное время. Если пренебречь внешними силами, такими как течения и ветер, то оптимальным будет управлять лодкой так, чтобы она всегда направлялась в сторону В. Тогда путь лодки будет представлять собой прямую линию из А в В, что тривиально оптимально. Если суммарная сила, действующая на лодку при наличии течения и ветра, отлична от нуля, то управление в отсутствие течения и ветра не приведет к оптимальному пути. В своей статье 1931 года, Эрнст Цермело формулирует следующую проблему: *«В неограниченной плоскости, где распределение ветра задается векторным полем в зависимости от положения и времени, судно движется с постоянной скоростью относительно окружающей воздушной массы. Как нужно управлять кораблем, чтобы прибыть из начальной точки к заданной цели в кратчайшие сроки?»*

Это расширение классической задачи оптимизации для геодезических – минимизация длины кривой, соединяющей точки А и В, с дополнительной сложностью учета некоторой скорости ветра. Хотя в большинстве случаев обычно невозможно найти точное решение, общий случай был решен самим Цермело в форме дифференциального уравнения в частных производных, известного как уравнение Цермело, которое может быть решено численно.

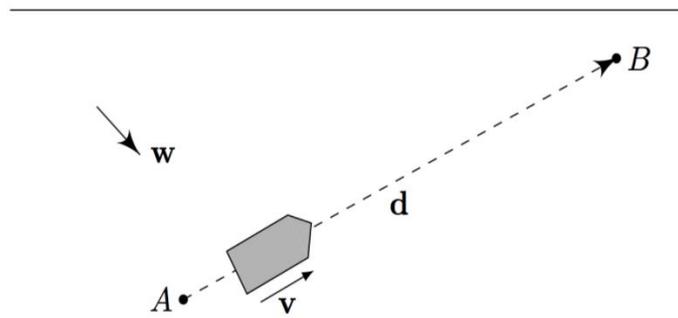


Рис. 1 – Схематическое представление задачи Цермело

Рассмотрим решение задачи оптимального использования топлива с помощью NMPC регулятора в приложении Matlab. Давайте рассмотрим двумерный случай, когда судно движется в плоскости xy . Состояние судна определяется его положением (x,y) и его скоростью v . Управляющими входными данными являются скорость v и направление α судна. Дрейф представлен вектором скорости $d(x,y)$, который зависит от положения судна. Данная система определяется системой дифференциальных уравнений (1) вида:

$$\begin{aligned} x' &= v \cdot \cos(\alpha) + d_x(x,y) \\ y' &= v \cdot \sin(\alpha) + d_y(x,y) \end{aligned} \quad (1)$$

Также для более качественной работы симулятора необходимо ввести входные ограничения управления для реалистичной и безопасной эксплуатации судна. Ограничение угла направления (от 0 до 2π радиан) обеспечивает полную свободу навигации в пределах возможностей судна. Ограничение скорости (от 0 до 1 м / с) соответствует ограничениям тяги судна, предотвращая команды, превышающие ее мощность.

```
%Угол в радианах
msobj.ManipulatedVariables(1).Min = 0;
msobj.ManipulatedVariables(1).Max = 6.28;
%Скорость
msobj.ManipulatedVariables(2).Min = 0;
msobj.ManipulatedVariables(2).Max = 1;
```

Рис. 2 – Добавление ограничений для симуляции реалистичной мощности судна

Вводим параметры для функции состояния и этапа. Используем `getSimulationData` для инициализации структуры данных.

```

xref = [6; 7];
obs = [2; 5; 2];
pvcost = [xref; p];
pvstate = 1;
simdata = getSimulationData(msobj);
simdata.StateFcnParameter = pvstate;
simdata.StageParameter = repmat(pvcost, p+1, 1);

```

Рис. 3 – Создание параметров для функции состояния и нахождения судна

Далее мы моделируем систему с учетом траектории, которой нужно следовать по заданным координатам на основе входных данных, которые были проверены. Затем осуществляем инициализацию переменных со значениями начальных состояний координат системы и векторов направления, также вводим переменные сохранения состояния системы для построения графического изображения маршрута судна и задаем первый ‘нулевой’ шаг системы. Далее устанавливаем цикл для того, чтобы можно было просматривать динамику изменения системы в промежутке заданного времени. Вычисляем оптимальное управляющее воздействие на систему и затем моделируем симуляцию всей нужной системы на координатной плоскости. И записываем полученные состояния и управляющие входные данные для получения графиков без разрывов, чтобы можно было точно проследить динамику движения маршрута судна.

```

% Определение продолжительности моделирования в секундах.
Duration = 15;

% Начальное состояние и векторы управления.
x0 = zeros(nx,1);
u0 = zeros(nmv,1);

% Предварительное распределение состояния массивов хронологии и управляющие входные данные,
% для последующего построения графика.
xHistory1 = x0.'; % История состояний
uHistory1 = u0.'; % История ввода управления

% Инициализация ввода управления для первого шага.
uk = u0;

% Цикл моделирования для увеличения динамики системы на
% в течение заданного времени.
for k = 1:(Duration/Ts)
    % текущего состояния на итерации k.
    xk = xHistory1(k,:).';

    % Вычислите оптимальное управляющее воздействие с помощью nlpmove.
    [uk, simdata, info] = nlpmove(msobj, xk, uk, simdata);

    % Смоделируйте систему для следующего интервала управления с помощью ode45.
    odefun = @(t,xk) Navigation.StateFcn(xk,uk);
    [TOUT, XOUT] = ode45(odefun, [0 Ts], xk);

    % Регистрация состояния и управляющие входных данных для анализа и построения графика.
    xHistory1(k+1,:) = XOUT(end,:);
    uHistory1(k+1,:) = uk;
end

% временной вектор для построения графика.
time = 0:Ts:Duration;

```

Рис. 4 – Симуляция модели

С помощью графиков показываем изменение по координатам. Конечной точкой маршрута является точка с координатами (8,6).

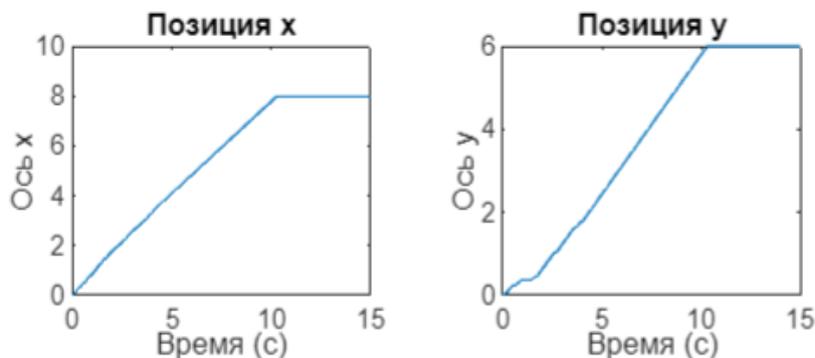


Рис. 5 – График изменения положения судна на плоскости

На графике хорошо заметна монотонная и плавная динамика изменения положения модели в пространстве. Такая плавность обусловлена отсутствием различных препятствий. Построим график изменения оптимальной скорости судна для заданных значений.

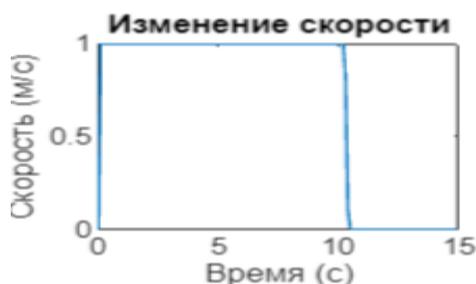


Рис. 6 – График изменения скорости

График скорости изменился всего два раза: в начальный момент времени, когда можно было развить потенциально максимальную скорость, а затем отправится в точку назначения и когда корабль достиг конечного назначения в точке. Моделирование системы без препятствия доказало, что наикратчайшим путем будет прямая, соединяющая данные точки. Следовательно для более быстрого достижения конечного пункта можно использовать максимальную скорость, без слежения за изменением топлива, при условии, что топлива было достаточно для преодоления расстояния.

Задача Цермело также рассматривает расход топлива при плавном огибании препятствий на плоскости. Смоделируем систему с применением препятствий, чтобы можно было лучше посмотреть динамику корректировки скорости для маршрута. Также необходимо учитывать как препятствие дрейф корабля и волны. С учетом этого можно

смоделировать график, который будет показывать как необходимо менять скорость судна в зависимости от прохождения препятствий. Он будет моделировать предположительное и оптимальное состояние для контроля расхода топлива с помощью цветовой шкалы.

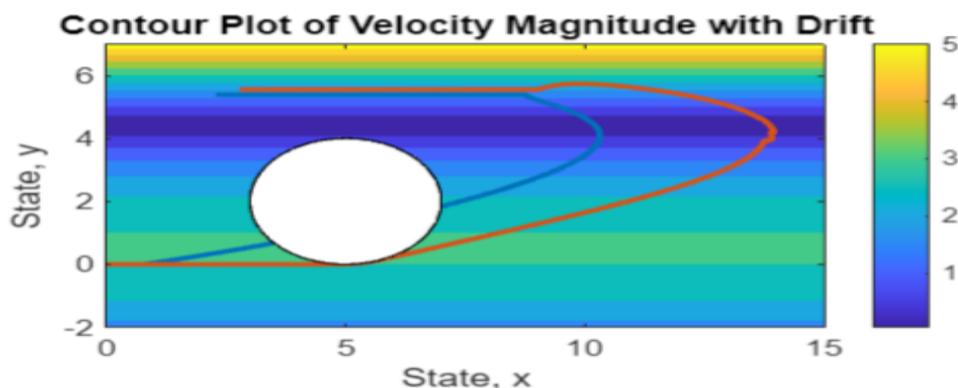


Рис. 7 – График рекомендуемой скорости системы для оптимального расхода топлива

На графике красной линией показан маршрут с обходом препятствия, синей линией показан маршрут без изменения траектории движения. Графики имеют такую траекторию, потому что учитывается скорость дрефта, и время набора скорости необходимой для обхода препятствий и дальнейшего маневрирования после их прохождения. Шкала рядом показывает степень изменения скорости, для рационального расхода топлива.

В данной работе представлена модель симуляции классической задачи Цермело для нахождения оптимальной скорости для рационального расхода топлива. В ней показано как численно можно решить данную задачу с помощью нелинейного модельного прогнозирующего контролера (NMPC регулятора). На графиках, симулирующих прохождение маршрута удобно просматривать изменения положения судна в системе. Также понятно, насколько важно уметь расходовать топливо и контролировать скорость, чтобы плавно обходить препятствия без потери времени и ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Model_predictive_control, [Электронный ресурс]. - статья Википедии по MPC регуляторам, 2024.
2. https://www.ipu.ru/sites/default/files/news/Диссертация_Черешко.pdf, [Электронный ресурс]. 2022 .
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Zermelo%27s_navigation_problem, [Электронный ресурс]. 2024.
4. <https://hal.science/hal-03209491v2/document>, [Электронный ресурс]. 2021.

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ПОДХОДОВ В СОЗДАНИИ МОДЕЛИ ШЕСТИЗОННОЙ ПЕЧИ НАГРЕВА МЕТАЛЛА

Савостин Н.В.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
snsb@bk.ru

***Аннотация.** Статья посвящена вопросу применения нейронных сетей для моделирования печи нагрева металла.*

Ключевые слова: Нейронная сеть; нагревательная печь; многозонная печь нагрева, печь нагрева, зависимость температуры, температура в печи нагрева, давление в печи нагрева, межконтурные взаимодействия.

ON THE ISSUE OF USING NEURAL NETWORK APPROACHES IN CREATING A MODEL OF A SIX-ZONE METAL HEATING FURNACE

Savostin N.V.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)
snsb@bk.ru

***Abstract.** The article is devoted to the application of neural networks for modeling a metal heating furnace.*

Keywords: Neural network; heating furnace; multi-zone heating furnace, heating furnace, temperature dependence, temperature in the heating furnace, pressure in the heating furnace, inter-circuit interactions.

Введение

Металлургия важная отрасль страны. Процесс выпуска металла достаточно трудоемкий и энергозатратный. Цикл производства подразделяется на различные этапы. Один из которых подразумевает нагрев металла в 6 зонной печи нагрева. Это достаточно сложный технологический объект (рис 1.).

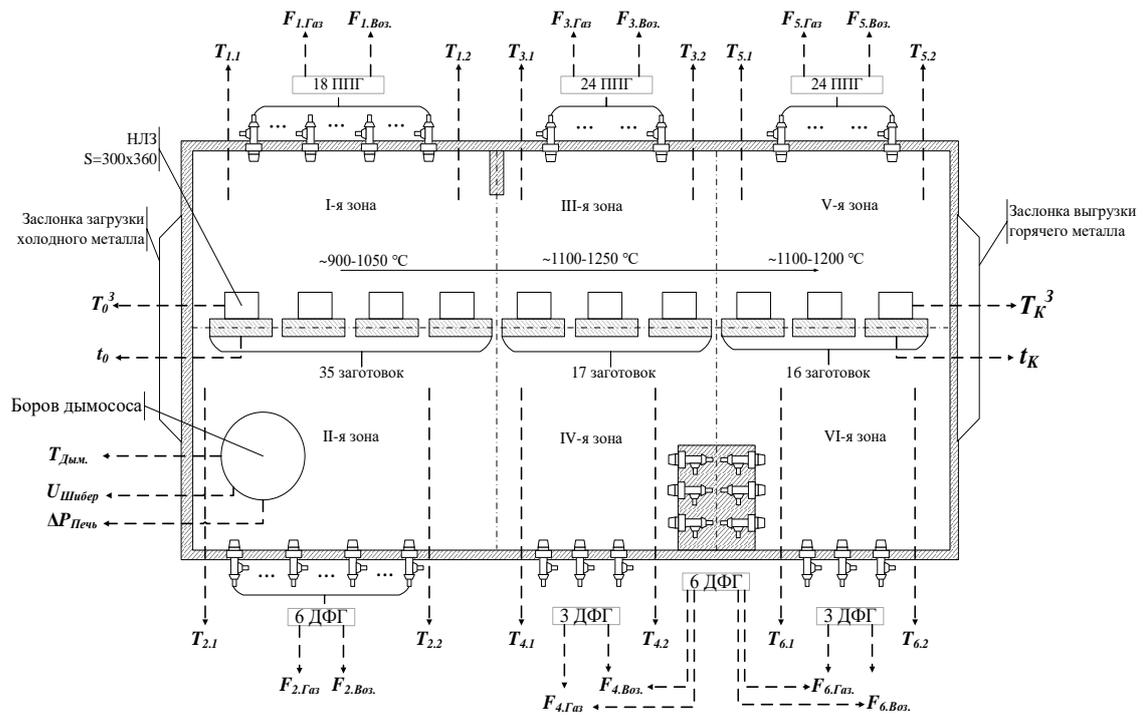


Рис. 1 – Шестизонная пламенная печь нагрева

Данный вид печей потребляет большое количество энергоресурсов, это одна из причин делающая задачи экономии топлива актуальными на сегодня. Решение подобного рода вопросов является сложным, так как в печи большое количество взаимосвязанных параметров, влияющих на технологическое внутрипечное состояние (рис 2.) [1].

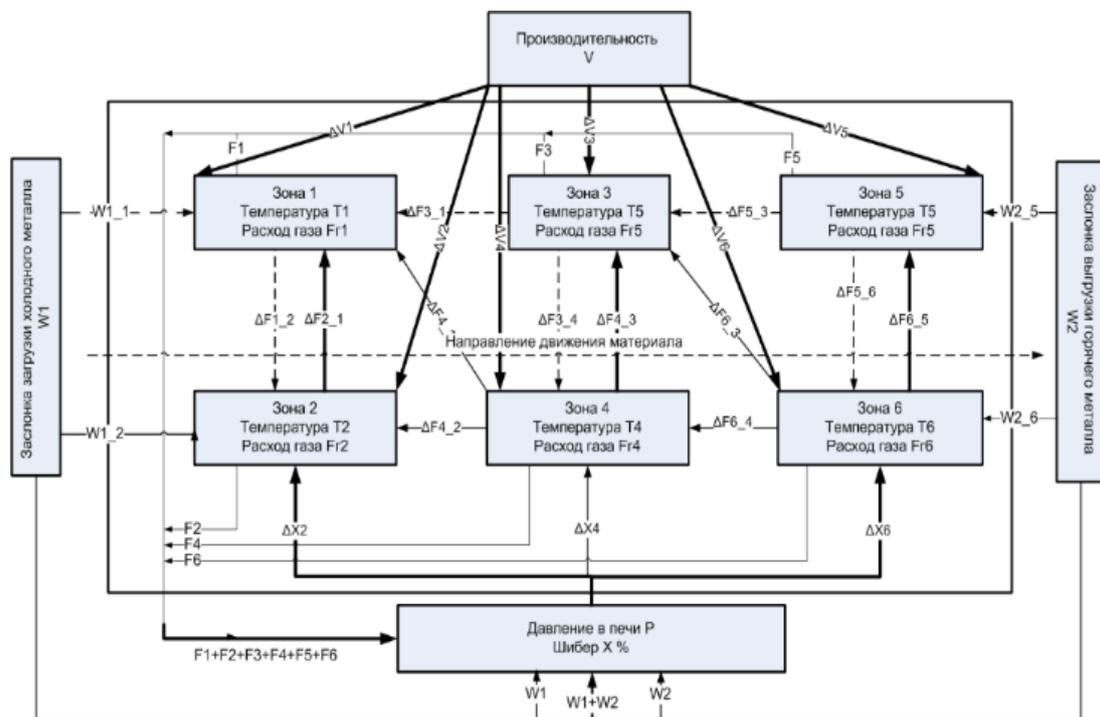


Рис. 2 – Функциональная схема межконтурных взаимодействий

На данный момент регулирование температурой внутри печи осуществляется с помощью ПИД-регулятора. С помощью данного метода достигается надёжность управления, но предиктивно реагировать на возмущающие воздействия с помощью него невозможно. На момент исследования, управление печью осуществляется с помощью ПИД-регулятора. Данный метод управления является надёжным, но недостатком является то, что с помощью него нельзя предиктивно компенсировать возмущающие воздействия.

В данном направлении проводится ряд исследований [2]. Первые исследования направлены на физическое изменение печи, а именно: добавление новых или доработка существующих горелок, применение новых методов рекуперации энергии [3]. Недостатком данного метода является необходимость физически изменять печь и останавливать производство. Вторые исследования направлены в сферу повышения точности параметров пи регулятора с целью минимизации перерегулирования по температуре [4]. Недостаток — это то, что в печи достаточно малое количества переходных процессов чтобы был заметен эффект. Третьи исследования посвящены работам в сфере математического моделирования. Но учитывать абсолютно все факторы, влияющие на внутripечное состояние, достаточно сложная задача [5-6].

Совокупность работ данной тематики и группы авторов направлены на попытку создания «надсистемы управления», которая будет способна помогать существующим алгоритмам ПИД-регулирования, повысить точность регулирования, а также предиктивно действовать при наличии возмущающих воздействий. Но для этого необходимо наличие модели печи нагрева металла, схожей с реальным объектом. Для создания подобной модели, было использовано несколько подходов, но в конечном итоге было принято решение использовать нейронные сети.

На первом этапе исследования использовался регрессионный анализ. Но в процессе было обнаружено, что данные носят характер ненормального распределения, а также имелось наличие выбросов, обусловленных технологической природой [7-9]. Именно поэтому было принято решение использовать нейронные сети. Так как в печи 6 зон, планировалось создать отдельные модели для каждой из зон печи [10-11].

Моделирование подобного рода структуры сети показало, что зависимости существуют и коэффициент R^2 был в диапазоне от 0.5 до 0.7. Результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Сводная таблица результатов создания моделей для каждой из зон.

Зона №	Входы	Выход	Кол-во нейронов	Обучающая выборка %	Тестовая выборка %
1	Расход газа в зоне №1; Давление; Положение шиберы; Расход воздуха зона №1;	Температура зоны №1	100	64	57
2	Расход газа в зоне №2; Давление; Положение шиберы; Расход воздуха зона №2;	Температура зоны №2	100	66	60
3	Расход газа в зоне №3; Давление; Положение шиберы; Расход воздуха зона №3;	Температура зоны №3	100	68	59
4	Расход газа в зоне №4; Давление; Положение шиберы; Расход воздуха зона №4;	Температура зоны №4	100	67	60
5	Расход газа в зоне №5; Давление; Положение шиберы; Расход воздуха зона №5;	Температура зоны №5	100	71	64
6	Расход газа в зоне №6; Давление; Положение шиберы; Расход воздуха зона №6;	Температура зоны №6	100	69	62

Повысить точность моделей для каждой из зон не получалось. Это обусловлено наличием межконтурных влияний. Для их учета было принято решение, о создании одной общей модели для всей печи. Поэтому была создана нейросеть, имеющая 19 входных нейронов, 500 нейронов в скрытом слое и 6 нейронов в выходном слое. В результате обучения был достигнут результат, при котором коэффициент регрессии составил от 0,7 до 0,85 позонно. Модельные эксперименты подтвердили схожую логику работы реального объекта с полученной моделью (рис. 4).

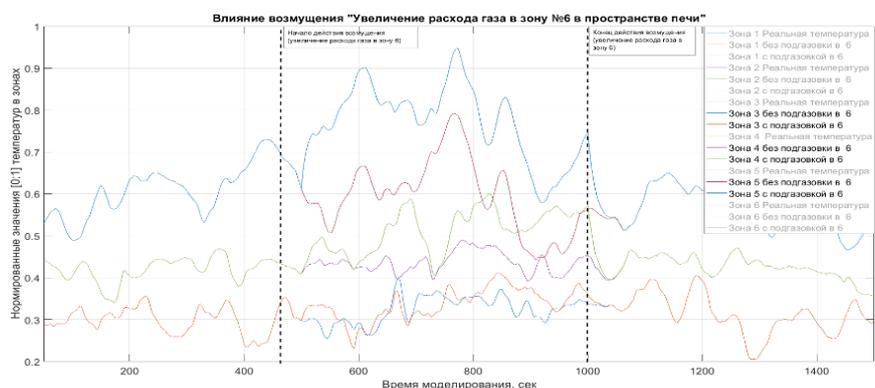


Рис. 4 – Графики нормализованных температур при подаче газа в зону 6

Точность модели проверялась с помощью следующих метрик: MAE, MSE, R2.
Сравнительные результаты позонно представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Измерения отклонений с помощью различных метрик

Метрика \ Номер зоны печи	MAE	MSE	R2
1	0,0569	0,0056	0,65
2	0,0527	00,005	0,73
3	0,0542	0,0050	0,70
4	0,0570	0,0050	0,70
5	0,0660	0,0076	0,87
6	0,0690	0,0085	0,80

Данное исследование демонстрирует возможности применения нейронных сетей при создании модели 6 зонной печи нагрева металла. Результаты моделирования говорят о схожей работе реального объекта с созданной моделью. Далее планируется использовать LSTM сети с целью повышения точности модели и учета ее динамики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Фомин, А. В. Разработка функциональной схемы межконтурных взаимодействий в нагревательных печах на примере печей нагрева металла АО «ОЭМК им. А.А. Угарова» / А. В. Фомин // Автоматизация в промышленности. – 2024. – № 7. – С. 46-49. – DOI 10.25728/avtprom.2024.07.08. – EDN QTQENZ.
2. Бирюков А.Б., Иванова А.А. Диагностика температурного состояния металла при его тепловой обработке в печах непрерывного действия // Metallurg.2018.№ 4.С.33-37.
3. Бирюков А. Б. Исследование зависимости конструктивных параметров теплообменных насадок регенеративных горелок от теплотехнических условий протекания процесса // Сталь. – 2021. – №. 4. – С. 65-69.\
4. Еременко Ю.И., Поleshchenko Д.А., Глушченко А.И. О применении нейросетевого оптимизатора параметров ПИ-регулятора для управления нагревательными печами в различных режимах работы // Управление большими системами. 2015. № 56. С. 143-175.

5. Начкебия Н.С., Бирюков А.Б. Анализ расчетных методов и математических моделей теплообменных процессов в насадках регенеративных горелок / Вестник ДонНУ. Серия Г: Технические науки. – 2023. – № 1.
6. Фомин А. В., Жуков П. И. Построение математической модели давления в рабочем пространстве многозонной печи //Промышленные АСУ и контроллеры. – 2022. – №. 1. – С. 19-25.
7. Курбатова Н.В., Пустовалова О.Г. Основы MatLab в примерах и задачах./ Учебно-методическое пособие к практикуму по курсу «Пакеты компьютерной алгебры». / Ростов-на-Дону. 2017.
8. Жуков П. И., Глущенко А. И., Фомин А. В. Модель для прогнозирования температуры заготовки по ретроспекции ее нагрева на основе бустинга структуры //Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2020. – Т. 18. – №. 4. – С. 11-27.
9. Жуков П. И., Глущенко А. И., Фомин А. В. Модель для прогнозирования температуры заготовки по ретроспекции ее нагрева на основе бустинга структуры «случайный лес» // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2020. Т. 18, № 4. С. 11–27.)
10. Fomin A., Savostin N., Zhukov P. Model of Dependence of Zone Gain from Technological Parameters of Multizone Heating Furnace Using Regression and Neural networks //2023 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – IEEE, 2023. – С. 575-580.
11. Петров И.М., Иванцова А.Б., Шишкова С.Г., Кузнецов А.М. Практика применения нейросетевого моделирования в металлургии / В сборнике: Актуальные аспекты развития науки и общества в эпоху цифровой трансформации. Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции. Москва, 2023. С. 55-60.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ АКТИВНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭКСКАВАТОРНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Симонов А.Э., Молодых А.В.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

***Аннотация.** В современном мире большое значение уделяется вопросам повышения качества электроэнергии и энергосбережения. Это связано, прежде всего, с широким распространением полупроводниковой преобразовательной техники, совершенствованием компонентной базы силовой электроники, которое делает возможным рост мощностей единичных преобразователей и увеличивает нелинейные нагрузки в электросети.*

Ключевые слова: электропривод; система управления; экскаватор карьерный гусеничный.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE OPERATION OF AN ACTIVE VOLTAGE RECTIFIER IN AN EXCAVATOR ELECTRIC DRIVE

Simonov A.E., Molodykh A.V.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** In the modern world, great importance is paid to improving the quality of electricity and energy conservation. This is primarily due to the widespread use of semiconductor converter technology, the improvement of the component base of power electronics, which makes it possible to increase the capacity of single converters and increases nonlinear loads in the power grid.*

Keywords: electric drive; control system; crawler mining excavator.

Для добычи полезных ископаемых, на современных производствах используют экскаваторы типа «ЭКГ». Это электрический полноповоротный экскаватор, предназначенный для разработки и погрузки в транспортные средства или в отвал полезных ископаемых и пород. Для питания главных электроприводов постоянного тока экскаваторов используют несколько стандартных систем управления таких как:

1. Магнитный усилитель – генератор – двигатель.
2. Тиристорный возбудитель – генератор – двигатель.
3. Тиристорный преобразователь – двигатель.

Каждая из систем управления имеет свои достоинства и недостатки.

Системы, построенные с применением электромашинных преобразователей, обладают самым малым КПД из всех представленных систем управления ввиду многократного преобразования энергии, также обязательным является обслуживание щёточно-коллекторных и подшипниковых узлов генераторов. Но данная система не лишена и достоинств. Самым главным достоинством этой системы является ее возможность работы с опережающим $\cos \varphi$, в независимости от типов возбудителей машин постоянного тока, потребляемый ток из сети будет всегда синусоидальным. Система тиристорный преобразователь – двигатель лишена проблем системы с применением электромашинного преобразователя, но имеет следующие недостатки. Ввиду разнонагруженности электроприводов экскаваторов и знакопеременной нагрузки необходимо грамотно выполнить компенсацию реактивной мощности и фильтрацию пульсаций, что несет за собой необходимость установки нескольких трансформаторов с разными группами обмоток или одного многообмоточного, а также установку местной фильтр-компенсирующей установки по количеству понижающих трансформаторов или количеству групп обмоток многообмоточного трансформатора. Помимо этого, ввиду характера работы тиристорного преобразователя (малая частота коммутации) при длительной работе на высоких углах открытия в стопорных режимах возникает ряд неисправностей электропривода. В системах экскаваторного электропривода с двигателями постоянного тока, можно добиться повышения энергетической эффективности за счет полупроводниковых преобразователей на полностью управляемых ключах с импульсно-модуляционными методами управления, устанавливаемых в первом звене системы управления.

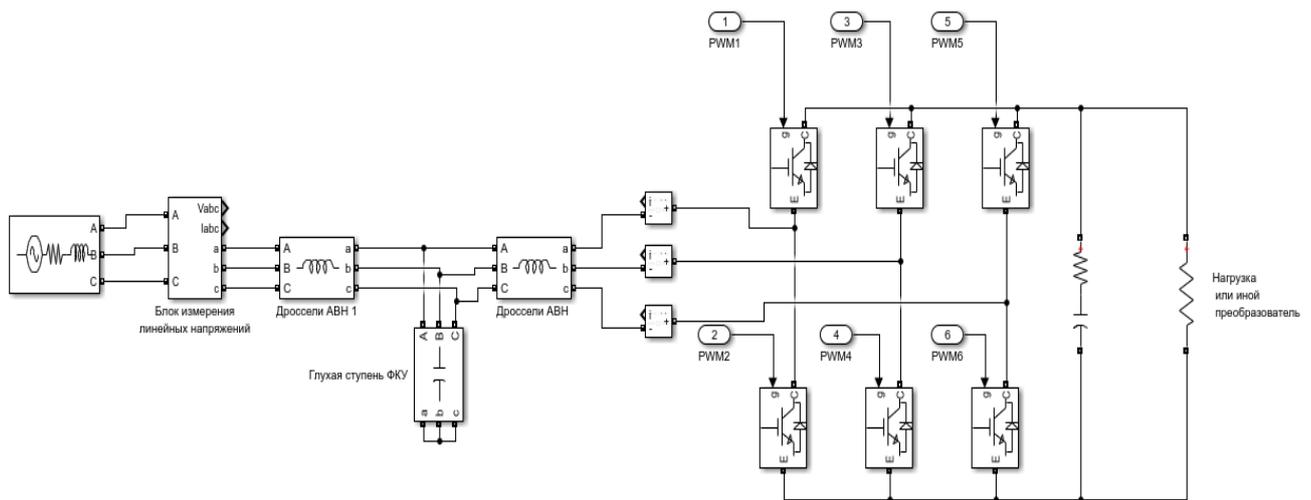


Рис. 1 – Активный выпрямитель напряжения в трехфазном исполнении.

Для наглядности работы преобразователя и процессов, протекающих в энергосистеме, построим математическую модель в подсистеме имитационного математического моделирования динамических процессов Matlab/Simulink, схема которого изображена на рисунке 1. [2]

Активные выпрямители широко применяются в преобразовательной технике для обеспечения активного характера обмена энергией с сетью. Они представляют собой двунаправленный AC-DC преобразователь с единичным коэффициентом мощности и низкими негармоническими искажениями. Основой устройства является трехфазный мостовой инвертор, подключаемый к сети через трехфазный дроссель. Данное устройство удерживая в заданных пределах напряжение в звене постоянного тока поддерживает нормальный режим работы нагрузки при отклонении питающего напряжения от нормального от + 10% до -30%.

В сравнении с преобразователями, применяемыми для работы экскаваторных электроприводов (тиристорный преобразователь, электромашинный преобразователь) данный преобразователь имеет такие преимущества как: низкий коэффициент пульсации выходного напряжения, высокий КПД, коэффициент мощности близкий или равный единице (в зависимости от режима работы), возможность двухстороннего обмена энергией с сетью, но данный преобразователь выступает лишь в качестве стабилизированного источника питания и не имеет возможности управления электродвигателем без дополнительного преобразующего устройства, это же является и его достоинством, потому что есть вариативность выбора системы управления и выбора приводного двигателя (АД или ДПТ).

Несомненным преимуществом системы с тиристорным преобразователем является то, что он универсален и сочетает в себе сразу два устройства: выпрямитель и регулятор, но для

корректной работы системы ТП-Д установленной мощностью свыше 200 КВА необходимы системы фильтр-компенсирующих установок местного и глобального характера для подавления 5 ой и 7 ой гармоник. Ниже представлены осциллограммы работы активного выпрямителя напряжения, под нагрузкой 50% и 100%.

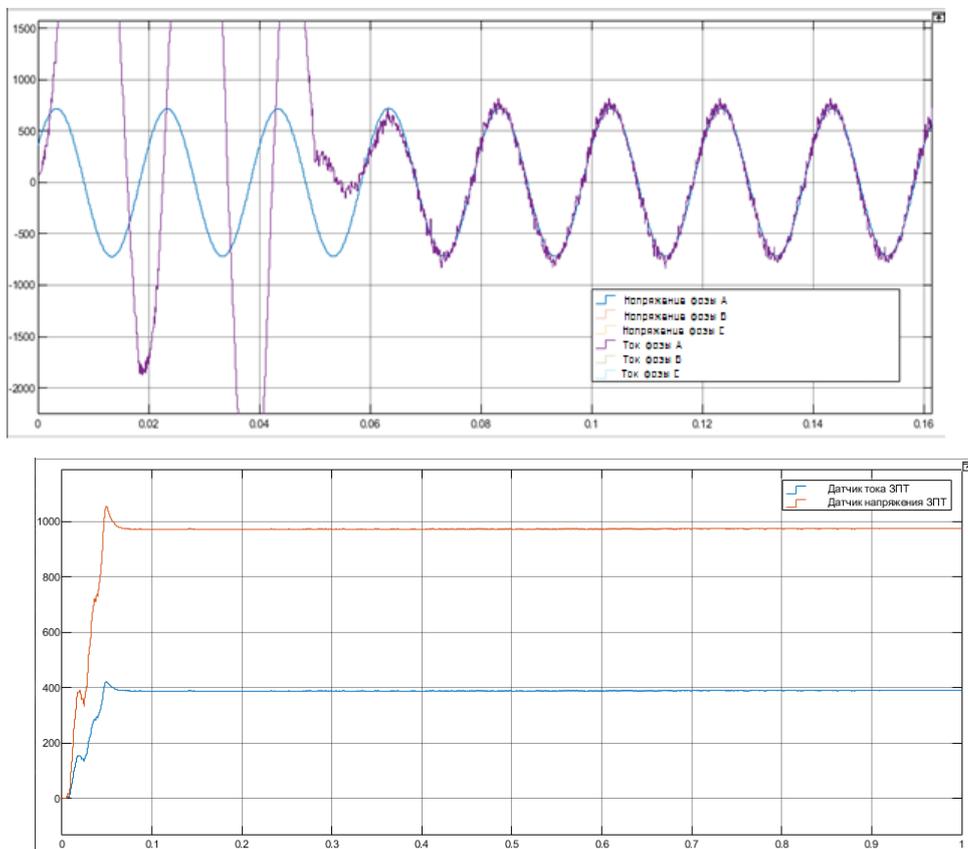
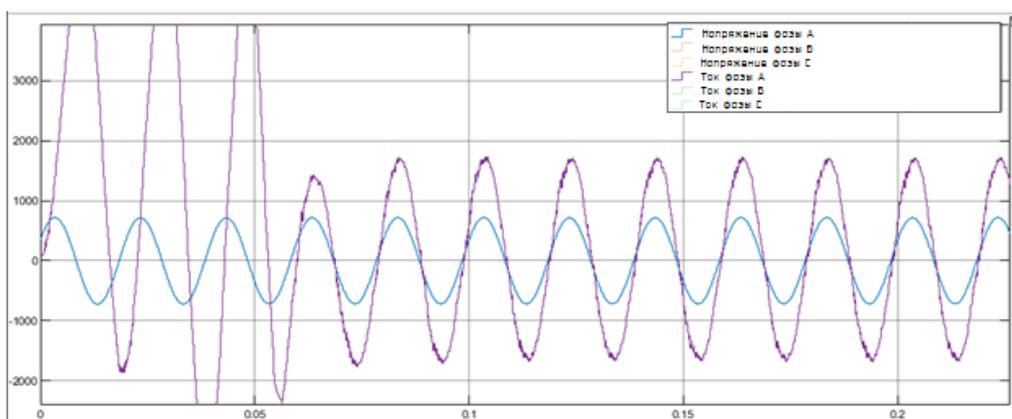


Рис. 2 – Осциллограммы сети переменного тока и ЗПТ при работе АВН 50%.



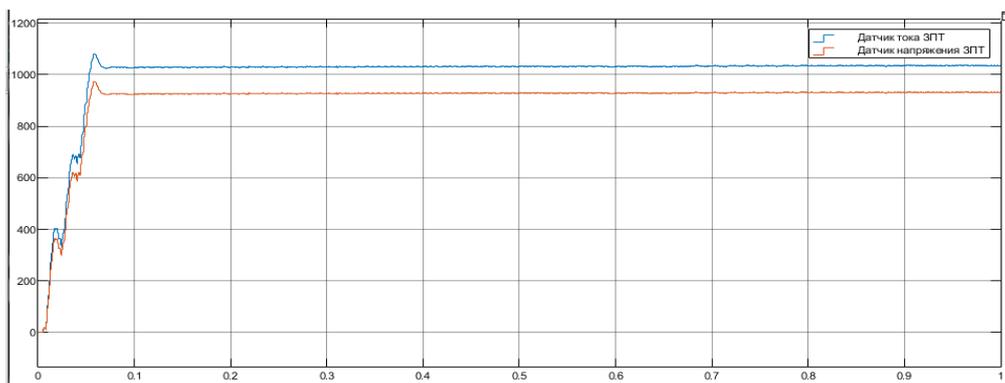


Рис. 3 – Осциллограмма сети переменного тока при работе АВН 100%.

В результате моделирования работы активного выпрямителя напряжения (Рис.1) были получены осциллограммы (Рис.2 и Рис.3), где на верхней осциллограмме отражены процессы, протекающие в питающей трехфазной сети с различной нагрузкой, а на нижней осциллограмме, зависимость тока и напряжения от нагрузки на звене постоянного тока. Из осциллограмм видно, что при работе АВН, в отличие от тиристорного преобразователя, ток имеет синусоидальную форму с гармониками высшего порядка (ввиду частоты работы АВН (4кГц)), наблюдаем совпадение по фазе токов и напряжения, что говорит о том, что коэффициент мощности близок или равен единице.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Ключев В.И. Теория электропривода [Электронный ресурс].– <https://www.elec.ru/library/nauchnaya-i-tehnicheskaya-literatura/teoriya-elektroprivoda-klyuchev/>(дата обращения: 15.10.2024).
2. Основные расчетные соотношения активных выпрямителей [Электронный ресурс].– <https://studfile.net/preview/7641104/page:27/>(дата обращения: 20.10.2024).
3. Жемеров, Г.Г. Выбор индуктивности реакторов активного выпрямителя – источника напряжения при постоянной частоте ШИМ [Электронный ресурс].– <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-induktivnosti-reaktorov-aktivnogo-vypryamitelya-istochnika-napryazheniya-pri-postoyanno-chastote-shim> (дата обращения: 20.10.2024)

ЗНАКОМСТВО С ПОГРУЖЕНИЕМ В ЦИФРОВУЮ ТРАНСФОРМАЦИЮ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

Симонова А.Г.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Аннотация. *Современные высшие учебные заведения осваивают новые технологии и трансформируют свои практики, бизнес-модели и процессы. Цифровая трансформация в высших учебных заведениях – это разработка новых, более совершенных и эффективных методов и практик для выполнения поставленных целей высшего образования. Настоящая статья связывает цифровую трансформацию и высшие учебные заведения.*

Ключевые слова: цифровая трансформация; образовательная организация; модель зрелости; внедрение технологий.

INTRODUCTION TO DIGITAL TRANSFORMATION IMMERSION IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Simonova A.G.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. *Modern higher education institutions are mastering new technologies and transforming their practices, business models and processes. Digital transformation in higher education institutions is the development of new, better and more effective methods and practices to achieve the goals of higher education.*

Keywords: digital transformation; educational organization; maturity model; technology implementation

В настоящее время цифровая трансформация рассматривается как эволюционный процесс, влияющий на все аспекты жизни как людей, так и организаций. Обзор существующей литературы раскрывает широкий спектр взглядов на цифровую трансформацию, что приводит к ряду интерпретаций и концептуализаций. По мнению

некоторых авторов, цифровая трансформация – это всего лишь внедрение ИТ в бизнес-практику и операции [1]. В то время как практики и ученые представляют цифровую трансформацию как процесс, включающий драматические и разрушительные изменения и результаты, которые приводят к потрясениям в бизнес-среде, причем цифровую трансформацию можно рассматривать как эволюционный процесс [2]. В этом контексте одна из наиболее целостных и сбалансированных концептуализаций характеризует цифровую трансформацию как эволюционный процесс, который использует цифровые технологии и возможности, что приводит к созданию бизнес-моделей, создающих ценность, более совершенную и эффективную по сравнению с бизнес-практиками и операциями [3].

Цифровую трансформацию также можно рассматривать с точки зрения связи между структурными, стратегическими и технологическими изменениями, которые необходимы для удовлетворения требований современной цифровой эпохи [4], что подчеркивает необходимость согласования старых и новых практик. Из чего следует что в связи с внедрением новых технологий цифровая трансформация влечет за собой инновации, направленные на трансформацию организационных продуктов и процессов, а также на решение существующих и потенциальных вызовов. Это также предполагает постоянное взаимодействие между членами организации и цифровыми технологиями, согласовывающее бизнес-практики, услуги и бизнес-модель [4].

В нынешнюю эпоху, характеризующуюся эпохой революционных знаний, стало императивом и критически важным осознание ценностей технологических инициатив и их роли в трансформации бизнес-моделей. Для характеристики этой тенденции появился ряд модных слов, таких как готовность к электронным технологиям, зрелость ИТ и т. д. [2]. На протяжении веков высшие учебные заведения были эпицентром создания и распространения знаний. Однако в настоящее время доступ к информации и знаниям уже не ограничивается физическим пространством учебных заведений. Скорее, информация и знания, относящиеся к широкому спектру предметов, могут быть получены из различных платформ, баз данных с открытым исходным кодом и веб-браузеров, приложений, энциклопедий, которые позволяют пользователям вносить свой вклад и расширять свои знания. Эта новая тенденция, хотя и создает различные вызовы, должна рассматриваться как возможность, а не угроза для высших учебных заведений [3].

В контексте современного общества знаний цифровую трансформацию следует рассматривать как критический процесс, в котором производство знаний и обработка информации происходят с помощью информационных технологий, таких как виртуальная реальность, интеграция онлайн-обучения, геймификация и большие данные [4]. Более того, успех в эту цифровую эпоху определяется способностью учебных заведений создавать и

надлежащим образом фиксировать такую информацию как вовлеченность студентов, достигнутые результаты, удовлетворенность и т. д. [5]. Возросла обеспокоенность по поводу того, какое место занимает образование в обществе знаний. Высшие учебные заведения сталкиваются со значительными вызовами, связанными с цифровой трансформацией, не только с точки зрения внедрения цифровых инструментов и технологий в процесс преподавания и обучения, но и с точки зрения внедрения технологий для изменения и модификации существующих систем, процессов, способов и каналов коммуникации, а также всей другой академической и административной деятельности, связанной с институтом знаний.

Для удовлетворения меняющихся образовательных потребностей учащихся был разработан ряд цифровых инструментов и технологий. По всему миру были созданы виртуальные образовательные платформы с широким спектром новых симулятивных методов обучения. Тем не менее, высшим учебным заведениям еще многое предстоит сделать для достижения цифровой трансформации, которая требуется в эту эпоху. Крайне важно рассматривать цифровую трансформацию на макроуровне, учитывая все сферы, в которых существует потребность во внедрении цифровых технологий для внедрения инноваций и улучшения системы предоставления услуг и образования в образовательных учреждениях. Для того, чтобы соответствовать международным стандартам, крайне важно придерживаться таких политик и стандартов, которые демонстрируют репутацию высших учебных заведений, поддерживающих студентов передовыми механизмами обучения и подачей знаний, адаптированных к учебной программе. В настоящей статье представлен обзор литературы, относящейся к цифровой трансформации высших учебных заведений посредством всестороннего обзора соответствующей литературы, освещается цифровая зрелость, а также проблемы, возможности и осведомленности о цифровой трансформации в образовательных учреждениях.

В настоящее время цифровая трансформация становится одним из главных приоритетов образовательных учреждений, в частности высших учебных заведений. Как и в случае с бизнес-институтами, это важный процесс для достижения конкурентного преимущества в отрасли. Ряд авторов предпринимали попытки концептуализировать понятие цифровой трансформации. Среди них Хесс и др. [4] концептуализировали это понятие как изменение, вызванное цифровыми технологиями для повышения общей производительности образовательного процесса.

Динамика процессов, практик, процедур, компетенций, систем и моделей организации трансформируются стратегическим и приоритетным образом, чтобы в полной мере использовать преимущества технологического прогресса, а также его повышенный

социальный эффект. В этом контексте, как и в любой другой отрасли, если высшие учебные заведения хотят оставаться актуальными для меняющихся отраслевых сценариев и тенденций и оставаться значимым компонентом этого перехода на протяжении всего времени, не исчезая со сцены, они должны расти целостно и интегрированно с областью цифровизации [4].

Главный вопрос заключается в том, как цифровые навыки и трансформация влияют на высшее образование? Цифровое обучение можно рассматривать как возможность для высшего образования усовершенствовать различные педагогические подходы. Первоначально электронное обучение было выбрано для повышения качества обучения за счет использования онлайн-инструментов и упрощения доступа к информации, а также дистанционного обмена и сотрудничества [4]. Тем не менее, большинство людей ассоциируют электронное обучение только с цифровизацией. Более уместно рассматривать электронное обучение как универсальный термин для любой формы обучения, которая опирается на электронные коммуникации и передовые технологии или извлекает из них выгоду [5].

Использование таких терминов, как «цифровое обучение» и «обучение с цифровой трансформацией», позволяет обсуждать процессы преподавания и обучения, уделяя особое внимание общим практикам. Масштабируемое индивидуальное обучение возможно благодаря обучению, преобразованному в цифровом формате. В этом смысле цифровые подходы к высшему образованию могут выйти за рамки использования технологических гаджетов и перейти к новому опыту обучения, который стал возможен благодаря технологическому прогрессу. Основное внимание будет уделяться не только электронным технологиям «в узком смысле», а термин «цифровой» потенциально может открывать возможности для переосмысления подходов к преподаванию и обучению в высших учебных заведениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Божко Ю.В.; Максимкин А.И.; Барышев Г.К.; Воронин А.И.; Кондратьева А.С. Цифровая трансформация как ключ к синтезу образовательного и инновационного процесса в исследовательском университете. В материалах Международной конференции по цифровой трансформации и глобальному обществу, Санкт-Петербург, Россия, 22–24 июня 2016 г.; С. 386–391.
2. Бонд, М.; Mañín, V.I.; Dolch, C.; Bedenlier, S.; Завацки-Рихтер О. Цифровая трансформация в высшем образовании Германии: восприятие студентами и преподавателями и использование цифровых медиа. 2018, *15*, 1–20.

3. Елена, Ф. Внедрение цифровых практик преподавания и обучения в модернизацию высших учебных заведений. 2017, *17*, 41–47.
4. Азаренко, Н.Й.; Михеенко О.В.; Чепикова Е.М.; Казаков О.Д. Формирование инновационного механизма подготовки кадров в условиях цифровой трансформации экономики. В материалах Конференции по управлению качеством, транспорту и информационной безопасности, информационным технологиям, информационным технологиям и MQ и ИБ 2018 года, Санкт-Петербург, Россия, 24–28 сентября 2018 года; С. 764–768.
5. Тай, Х.Л.; Лоу, С.В.К. Цифровизация учебных ресурсов в вузе — перспектива бережливого управления. 2017, *66*, 680–694.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМЫ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЙ ДЛЯ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ

Симонова А.Г., Гофман И.В.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
simonova.ag@misis.ru, irina-gofman04@mail.ru

Аннотация. *Статья посвящена повышению эффективности системы ремонтов с использованием математической модели теории расписаний.*

Ключевые слова: теория расписаний; фактическое состояние; график планирования; целевая функция.

OPTIMIZATION OF THE SCHEDULING SUBSYSTEM FOR CAR REPAIRS

Simonova A.G., Gofman I.V.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)
simonova.ag@misis.ru, irina-gofman04@mail.ru

Abstract. *The article is devoted to improving the efficiency of the repair system using the mathematical model of the schedule theory.*

Keywords: theory of schedules; actual state; planning schedule; objective function.

Планирование ремонтов обычно происходит по фактическому состоянию и графику, который составляют в начале текущего года специалисты по планированию ремонтов с периодичностью в один год. Обслуживание фактического состояния осуществляется осмотром автомобиля механиком с целью обнаружения возможных дефектов и отправкой на ремонт.

Для повышения эффективности системы ремонтов предлагается создать функционал, который позволил бы составлять такое расписание по ремонту и обслуживанию автомобилей, позволяющий уменьшить время простоя во время ремонта и который определяет ответственные автомобили, т.е. такие автомобили, у которых пробег с момента последнего ремонта приближается к предельной наработке.

Для решения поставленной задачи будем использовать математический метод теории расписаний [1]. Это раздел дискретной математики, занимающийся проблемами упорядочения процессов. В общем случае проблемы формулируются так: задано некоторое множество работ $N = \{N_1, N_2, \dots, N_n\}$ с определённым набором характеристик: длительность выполнения работы, момент поступления автомобиля на ремонт, момент завершения ремонта, директивная длительность ремонта. Задано некоторое множество автомобилей $M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$, на которых требования должны обслуживаться в соответствии с некоторым порядком.

Пусть есть M автомобилей и N ремонтов. Каждый i -ый автомобиль имеет длительность выполнения ремонта t_{ij} .

X_{ij} – булева переменная, которая обозначает

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{выполнять ремонт;} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (1)$$

Целевая функция задачи заключается в минимизации времени ремонтов автомобилей:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N t_{ij} * x_{ij} \rightarrow \min, \quad (2)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, (i = 1..m), \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n t_{ij} \leq D * R * B, \quad (4)$$

где D – количество дней в месяце, R – количество часов в рабочем дне, B – количество человек в бригаде.

Для определения приоритета ремонта автомобилей необходимо провести ранжирование[2].

Ранжирование будет производиться по следующим критериям:

- 1) Если автомобиль является ответственным, то ремонт на нем будет выполняться в первую очередь и ранжирование будет проводиться по длительности ремонта ($t_1 < t_2 \dots < t_j$);
- 2) Если автомобиль не является ответственным, то он также будет ранжироваться по длительности ремонта ($t_1 < t_2 \dots < t_j$).

Для решения рассматриваемой задачи автоматизации составления расписания должен производиться ввод информации об объекте ремонта. Справочная информация об объектах и ремонтах должна быть ранее загружена в соответствующие справочники базы данных в процессе решения задач данной предметной области.

Технологическая схема обработки данных решаемой задачи представлена на рис. 1.



Рис. 4 – Обобщенная технологическая схема обработки информации

Блок-схема обобщенного алгоритма работы программы представлена на рис. 2.

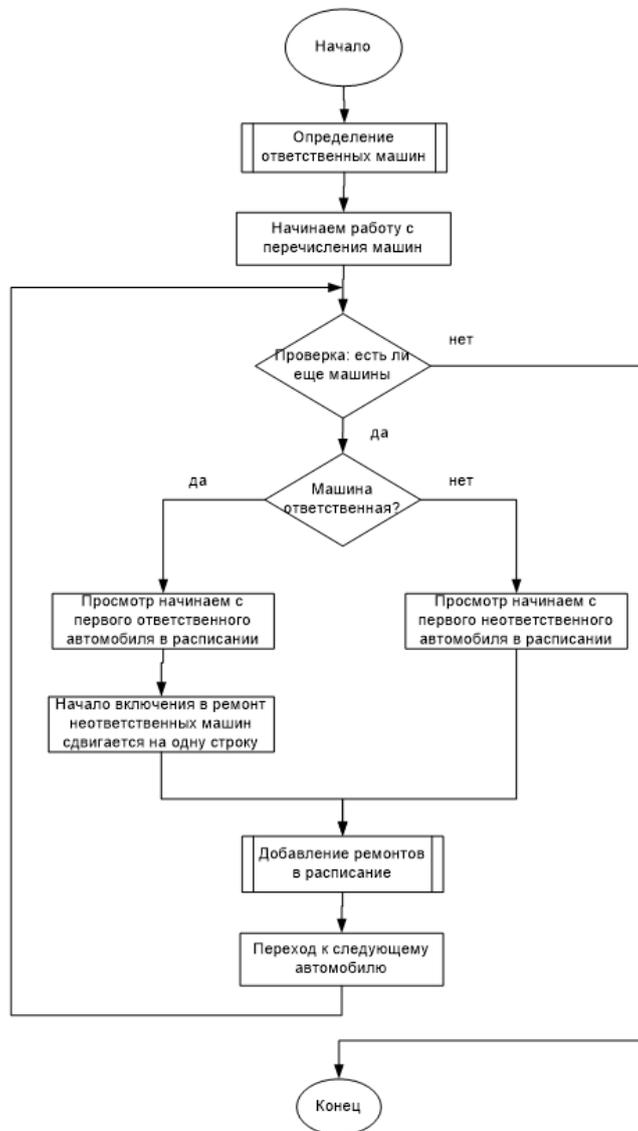


Рис. 5 – Обобщенный алгоритм работы программы

Рассмотрим процесс выбора ответственного автомобиля. Алгоритм работы модуля «Выбора ответственного автомобиля» представлен на рис. 3.

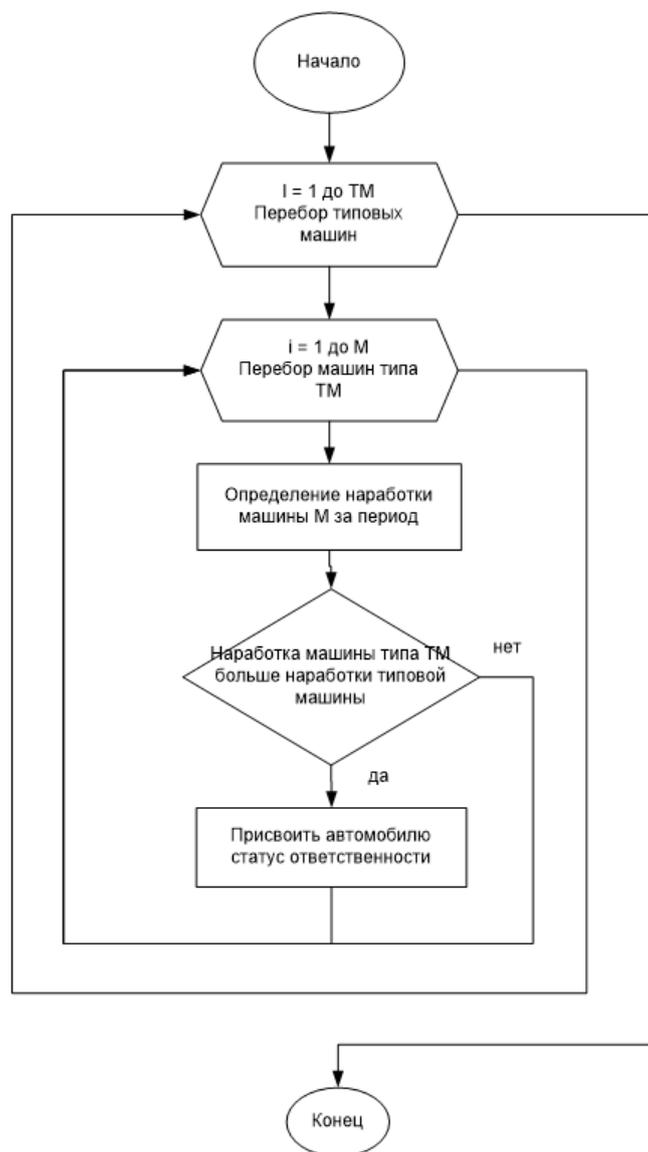


Рис. 6 – Алгоритм выбора ответственного автомобиля

Информационная подсистема «Управление ремонтами» содержит несколько форм для ввода информации, основные из них:

— Объекты ремонта – позволяет вводить и обрабатывать информацию об объектах ремонта, дате ввода в эксплуатацию, ответственности, типах и датах ремонта, операциях.

— Путевые листы – позволяет вводить данные об объекте, ФИО водителя, дате, показаниях при выезде и заезде, пробеге.

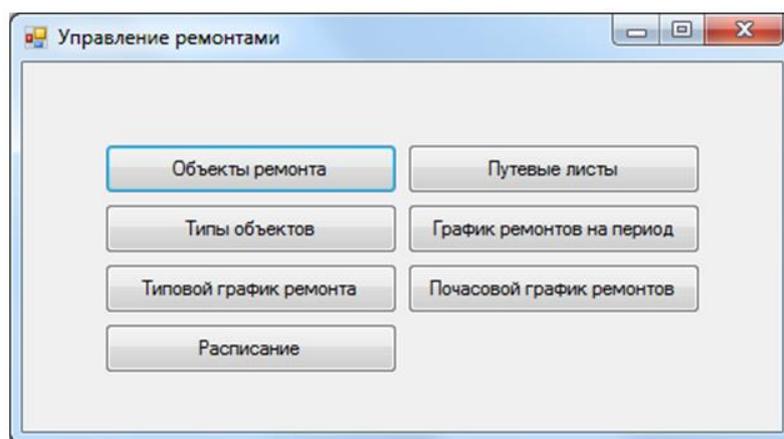


Рис. 7 – Форма "Управление ремонтами"

Разработанная система позволит формировать по требованию пользователя и выдавать на экран или печатающее устройство документы и отчеты, которые необходимы с определенной периодичностью. Это, в свою очередь, повысит эффективность анализа оперативной ситуации, сложившейся в отделе к конкретному моменту времени, и автоматизирует формирование документации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Баврин, И. И. Дискретная математика. Учебник и задачник : для вузов / И. И. Баврин. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 193 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-07065-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/536249>.
2. Плескунов, М. А. Прикладная математика. Задачи сетевого планирования : учебное пособие для среднего профессионального образования / М. А. Плескунов ; под научной редакцией А. И. Короткого. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 93 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-11959-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/515879>.

МОДЕЛИ ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ

Симонова А.Г.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Аннотация. *Современные высшие учебные заведения осваивают новые технологии и трансформируют свои практики, бизнес-модели и процессы. Цифровая трансформация в высших учебных заведениях – это разработка новых, более совершенных и эффективных методов и практик для выполнения поставленных целей высшего образования. Настоящая статья связывает цифровую трансформацию и высшие учебные заведения.*

Ключевые слова: цифровая трансформация; образовательная организация; модель зрелости; внедрение технологий, BCG (Boston Consulting Group) – Бостон Консалтинг Групп, консалтинговая фирма из США

DIGITAL MATURITY MODELS

Simonova A.G.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. *Modern higher education institutions are mastering new technologies and transforming their practices, business models and processes. Digital transformation in higher education institutions is the development of new, better and more effective methods and practices to achieve the goals of higher education.*

Keywords: digital transformation; educational organization; maturity model; technology adoption, BCG (Boston Consulting Group) – Boston Consulting Group, a consulting firm from the USA

Модели зрелости являются хорошо известными в литературе методами измерения зрелости организаций [1,4], где цифровую зрелость определяют как состояние цифровой трансформации в организации [2]. Применение этих концепций к образовательным высшим образовательным организациям, к сожалению, встречается достаточно редко, так как существующие модели ограничены управлением информационными системами в этих

организациях и все еще нуждаются в развитии [2].

Модели зрелости состоят из различных компонентов, таких как уровень зрелости, дескриптор для каждого уровня зрелости, элементы, связанные с соответствующими измерениями, а также описание каждого элемента для каждого уровня зрелости [4].

В настоящее время модели зрелости классифицируют по трем различным типам:

- описательные;
- предписывающие;
- сравнительные.

Описательные модели помогают в оценке данной ситуации, предписывающие модели подходят для реализации плана или инициативы, а сравнительные модели подходят для сравнения и бенчмаркинга.

Консалтинговые компании рассматриваются в качестве подходящих консультантов для предоставления консультаций в отношении моделей цифровой зрелости. Поскольку существует большое количество фирм по управленческому консалтингу, в настоящей статье обсуждаются только модели зрелости ведущих фирм в отрасли, предполагая, что их модели являются наиболее распространенными на практике. Установлено, что консалтинговые фирмы предоставляют только общие модели в открытом доступе. Это может быть связано с тем, что такие консалтинговые фирмы считают свои зрелые модели интеллектуальной собственностью и, таким образом, хранят их как конфиденциальные данные. В таблице 1 обобщены эти модели цифровой зрелости.

Таблица 1 – Обзор моделей цифровой зрелости консалтинговых компаний.

Модель оценки цифровой зрелости	Достоинства	Недостатки
Digital maturity matrix (MIT Center for Digital Business and Capgemini Consulting)	Четкое структурирование источников трансформации и трансформируемых элементов в каждом из измерений.	Апробация проводилась только на крупных предприятиях с высокой степенью диверсификации бизнеса, поэтому одно из измерений - используемые бизнес-модели. Нет понимания последовательности трансформации, «неступенчатый» характер модели, соответственно возможно большое разнообразие вариантов цифровой трансформации, что затрудняет оценку.
Digital Maturity Model (Deloitte)	Четкое структурирование измерений и параметров цифровой зрелости, логически целостное представление образа компаний по множеству параметров	Избыточность показателей и измерений для оценки цифровой зрелости, что затрудняет возможности адаптации под нужды конкретной отрасли и предприятия.
Digital Transformation	Структурированная визуализация в виде радара	Множество измерений и их неконкретность

Index (Arthur D. Little)	с возможностью сравнения со среднеотраслевым вариантом образа компаний, соответственно можно оценить свою позицию в отрасли	
Индекс зрелости индустрии 4.0 (Acatech)	Четкое структурирование измерений, понятные категории измерений, взаимосвязь с общим контуром цифровой трансформации рынков.	Многослойность и многоуровневость оценки, наличие в модели измерений, индексов, направлений и функциональных областей. Вероятно, данная модель наиболее подойдет для практик крупных компаний. Кроме того, набор функциональных областей свидетельствует, скорее, о направленности применения в сфере производства, а не сервиса.
Модель KMDA	Изначальная адаптация под российские условия ведения бизнеса. Достаточно четко определение сущности и содержания измерений.	Нет привязки к отраслевым особенностям, некоторые измерения подойдут для оценки только крупного бизнеса.

В случае с высшими учебными заведениями трансформация существующих моделей преподавания и обучения является императивом для выживания и поддержания конкурентоспособности в долгосрочной перспективе. Лидеры высшего образования определили четыре основные и последовательные цели. Эти цели заключаются в улучшении учебной среды студентов, повышении операционной эффективности, увеличении вычислительной мощности для передовых исследований и стимулировании инноваций в образовании. Для высших учебных заведений крайне важно переосмыслить свои методы преподавания и обучения путем интеграции цифровых инструментов в существующие системы, что в конечном итоге обогатит их традиционные педагогические подходы и систему образования с помощью передовых инструментов представления образования [5].

Современные информационные технологии предоставляют разработчикам технические средства, обеспечивающие реальную возможность создания интегрированных автоматизированных систем управления предприятием нового поколения. Эти средства включают:

- распределенные цифровые микропроцессорные системы динамического управления первого уровня (интернет вещей);
- стандартные языки программирования систем реального времени (4GL) и конфигурируемые системы программирования;
- стандартные высокоскоростные телекоммуникационные системы;
- высокоэффективные механизмы защиты информации;

- разработки в области систем управления большими данными;
- системы искусственного интеллекта, позволяющие переложить существенную часть принятия решения на уровнях 2 и 3 на компьютерные системы.

Тем не менее, до сих пор в высшем образовании цифровые технологии рассматриваются как средство для постепенных изменений с точки зрения улучшения существующих подходов к обучению, а цифровая трансформация в высшем образовании должна выходить за рамки инноваций, внедряемых преподавателем с целью совершенствования педагогических подходов. Они также должны включать в себя навыки оцифровки, а не просто сосредотачиваться на поддержке процессов обучения с помощью технологий [3].

В настоящее время, чтобы сохранить конкурентоспособность, высшие учебные заведения используют все возможные цифровые технологии и инструменты для обеспечения постоянного совершенствования системы образования с целью повышения качества обучения. Инвестиции в технологии, для преобразования их в цифровые, и их использования для вовлечения учащихся в учебный процесс, а также отслеживания и прогнозирования их успехов, в конечном итоге приведут к улучшению конечного результата. Кроме того, цифровые решения для обучения студентов, могут быть использованы для их привлечения к развитию цифрового образования.

Также стоит отметить, что в настоящее время учащиеся, использующие цифровые технологии, являются основными движущими силами эволюции системы образования. Студенты начали рассматривать цифровой опыт как неотъемлемую часть своего обучения. В некоторых случаях это может быть важным фактором при выборе учебного заведения. Цифровая зрелость позволит высшим учебным заведениям стать более гибкими и эффективными в предоставлении образования, которое адаптируется к меняющимся образовательным потребностям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Божко Ю.В.; Максимкин А.И.; Барышев Г.К.; Воронин А.И.; Кондратьева А.С. Цифровая трансформация как ключ к синтезу образовательного и инновационного процесса в исследовательском университете. В материалах Международной конференции по цифровой трансформации и глобальному обществу, Санкт-Петербург, Россия, 22–24 июня 2016 г.; С. 386–391.

2. Бонд, М.; Marín, V.I.; Dolch, С.; Bedenlier, S.; Завацки-Рихтер О. Цифровая трансформация в высшем образовании Германии: восприятие студентами и преподавателями и использование цифровых медиа. 2018, 15, 1–20.

3. Елена, Ф. Внедрение цифровых практик преподавания и обучения в модернизацию высших учебных заведений. 2017, *17*, 41–47.

4. Азаренко, Н.Й.; Михеенко О.В.; Чепикова Е.М.; Казаков О.Д. Формирование инновационного механизма подготовки кадров в условиях цифровой трансформации экономики. В материалах Конференции по управлению качеством, транспорту и информационной безопасности, информационным технологиям, информационным технологиям и MQ и ИБ 2018 года, Санкт-Петербург, Россия, 24–28 сентября 2018 года; С. 764–768.

5. Тай, Х.Л.; Лоу, С.В.К. Цифровизация учебных ресурсов в вузе — перспектива бережливого управления. 2017, *66*, 680–694.

РАЗРАБОТКА НАВИГАЦИОННО-ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДСЧЕТА НАГРУЗКИ МАРШРУТОВ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Симонова А.Г.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

***Аннотация.** Задача оптимизации распределения транспортных средств по маршрутам с оптимальной нагрузкой является важной задачей в сфере транспортного обеспечения. Для оптимизации решения поставленной задачи предлагается использовать модель системы массового обслуживания (СМО) $M/M/n/r$ по классификации Кендалла.*

Ключевые слова: система массового обслуживания; Global Positioning System; интеллектуальная транспортная система

DEVELOPMENT OF A NAVIGATION AND INFORMATION SYSTEM FOR AUTOMATIC CALCULATION OF THE LOAD OF PASSENGER TRANSPORTATION ROUTES

Simonova A.G.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** The problem of optimizing the distribution of vehicles along routes with optimal load is an important task in the field of transport support. To optimize the solution of this problem, it is proposed to use the model of the queuing system (СМО) $M/M/n/r$ according to the Kendall classification.*

Keywords: queuing system; Global Positioning System; intelligent transport system.

Навигационно-информационная система предназначена для выравнивания нагрузки на маршрутные транспортные средства, находящиеся как в муниципальной собственности, так и в частном владении, путем оптимизации их количества на каждом маршруте и

динамического перераспределения транспортных средств между маршрутами с учетом сезонных изменений нагрузки и проходящих в городе культурно-массовых мероприятий.

Рассмотрим процесс перевозки пассажиров по заданному маршруту как n -линейную систему массового обслуживания с r местами для ожидания. Для краткого описания систем массового обслуживания обычно используется классификация Кендалла [1].

Классификация Кендалла состоит из четырех позиций, причем на первых двух обычно стоят буквы или комбинации букв М, Е, Н (или НМ), НЕ, РН, D или G (иногда пишут GI), а на двух остальных — цифры.

Буква или комбинация букв на первом месте характеризует входящий поток заявок. Буква М означает, что входящий поток пуассоновский, Е — эрланговский (т.е. рекуррентный, у которого времена между поступлениями заявок распределены по закону Эрланга), Н (или НМ) — гиперэкспоненциальный (времена между поступлениями имеют гиперэкспоненциальную функцию распределения), НЕ — гиперэрланговский (времена между поступлениями заявок распределены по гиперэрланговскому закону), РН — фазового типа (времена между поступлениями имеют РН-распределение), D — детерминированный и G — общий рекуррентный (часто в случае рекуррентного потока пишут GI, а буква G означает произвольный стационарный поток). Иногда символы Е и Н сопровождаются индексами, указывающими значения целочисленных параметров соответствующих распределений, например E_l или H_l . В последнее время изучаются также СМО с Марковским входящим потоком, который в классификации Кендалла обозначается буквами MAP на первом месте.

Буква или комбинация букв на втором месте характеризует распределение времени обслуживания заявки. Буква М означает, что время обслуживания распределено по экспоненциальному закону, Е — по закону Эрланга, Н (или НМ) — по гиперэкспоненциальному закону, НЕ — по гиперэрланговскому закону, РН — время обслуживания имеет РН-распределение, D — время обслуживания постоянно и G — имеет место рекуррентное обслуживание (здесь также следует сделать замечание, что часто в случае рекуррентного обслуживания используют обозначение GI, оставляя букву G для того случая, когда времена обслуживания могут зависеть между собой и даже от входящего потока).

Цифра на третьем месте показывает число обслуживаемых приборов.

Цифра на четвертом месте задает емкость накопителя.

Например, запись М/М/1/∞ кодирует однолинейную систему с накопителем бесконечной емкости (ожиданием), пуассоновским входящим потоком заявок и экспоненциальным распределением времени обслуживания заявки, запись G/G/n/0 — n -

линейную систему с потерями, рекуррентным входящим потоком и рекуррентным обслуживанием[2].

По классификации Кендалла рассматриваемая система принадлежит классу M/M/n/∞. Здесь n — количество посадочных мест в маршрутном такси. Поток требований на обслуживание (т.е. в нашем случае пассажиров) можно считать пуассоновским с интенсивностью λ , а время обслуживания заявок (т.е. количество остановок, которые проезжает пассажир) независимы и распределены по экспоненциальному закону с параметром μ .

Обозначим

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}; \quad (1)$$

Вероятность нахождения системы в состоянии 0 (отсутствия пассажиров) равна

$$p_0 = \left(1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \dots + \frac{\rho^{n+1}}{n \cdot n!} \frac{1 - \left(\frac{\rho}{n}\right)^{r+1}}{1 - \frac{\rho}{n}} \right)^{-1}; \quad (2)$$

Вероятность нахождения системы в состоянии i (в маршрутке i пассажиров) равна

$$p_i = \begin{cases} \frac{\rho^i}{i!} p_0, & \text{если } i = 1, \dots, n, \\ \frac{\rho^i}{n! n^{i-n}} p_0, & \text{если } i = n + 1, \dots, n + r; \end{cases} \quad (3)$$

Вероятность потери заявки, т.е. вероятность того, что некоторый пассажир не попадет в маршрутное такси, равна

$$\xi = \frac{\rho^{n+r}}{n! n^r} p_0. \quad (4)$$

Среднее число занятых каналов, т.е. занятых мест в маршрутном такси

$$\bar{n} = \frac{\lambda(1 - \pi)}{\mu} = \sum_{i=1}^{n-1} i p_i + \sum_{i=n}^{n+r} n p_i. \quad (5)$$

Рассмотрим влияние величины потока пассажиров и длины маршрута на параметры рассматриваемой системы для обычно маршрутки. Примем число мест в маршрутном такси $n = 13$, среднее количество остановок, проезжаемых пассажиром — 35% от их общего числа..

Решение поставленной задачи осуществляется следующим образом: программа должна непрерывно получать и архивировать данные о пассажиропотоке на всех известных маршрутах. По требованию пользователя осуществляется расчет параметров обслуживания

пассажиры и, в случае необходимости, выдаются рекомендации о перемещении некоторого количества машин с одного маршрута на другой. Алгоритм расчета параметров обслуживания — на рис. 1 и на рис. 2.

В случае потенциальной необходимости переноса маршрутных такси с одного маршрута на другой пользователю выдается информационное сообщение.

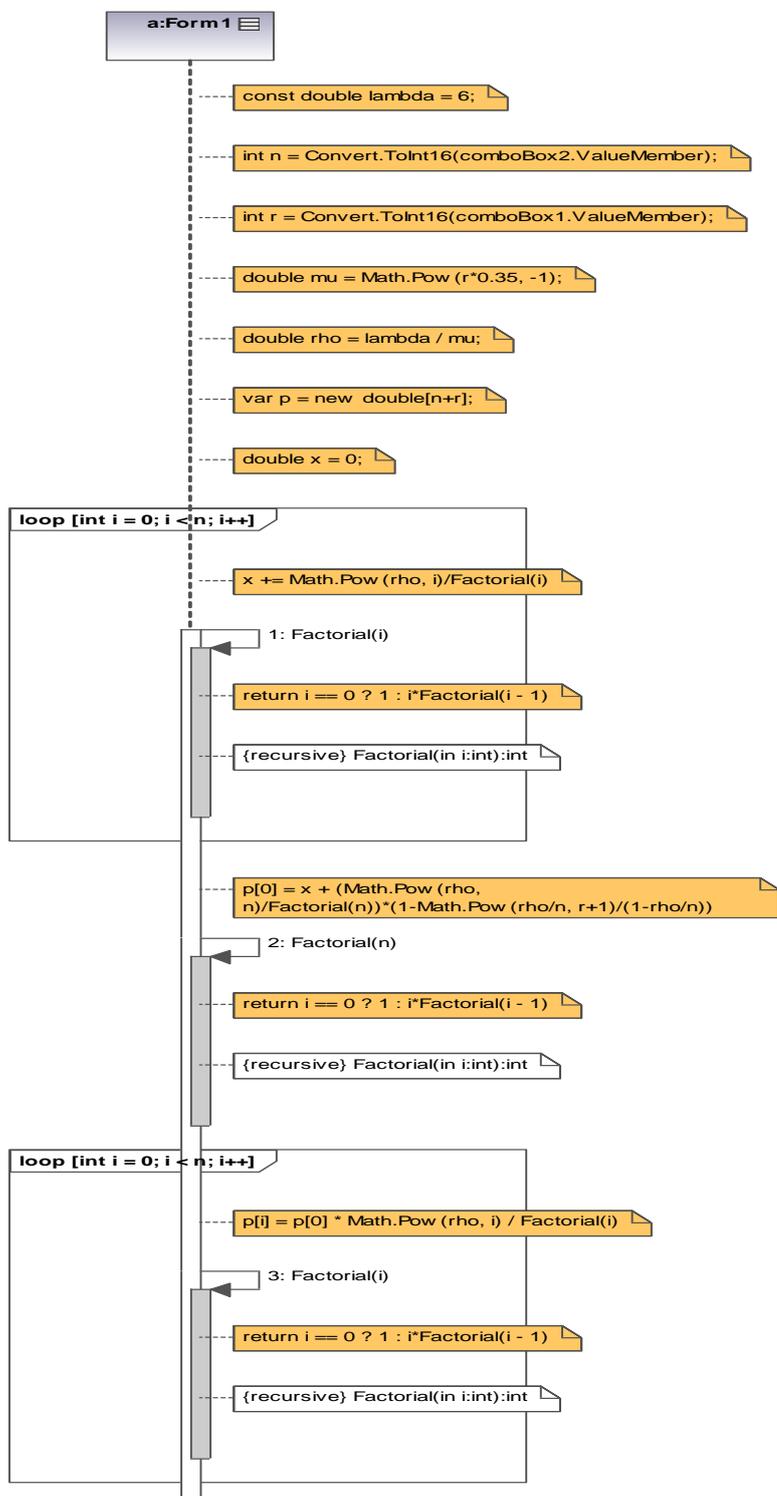


Рис. 1 – Алгоритм расчета параметров обслуживания пассажиров

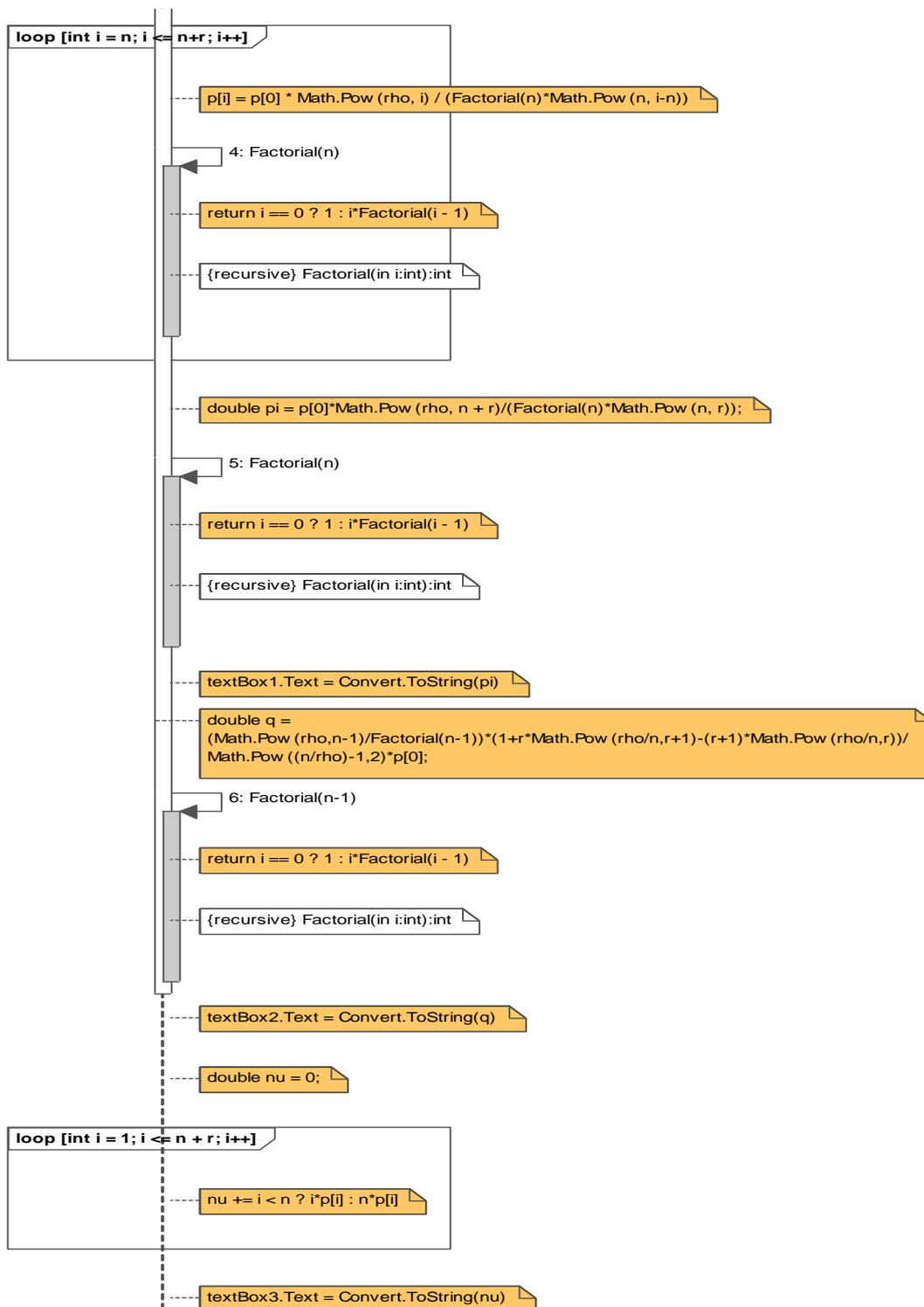


Рис. 2 – Алгоритм расчета параметров обслуживания пассажиров (окончание)

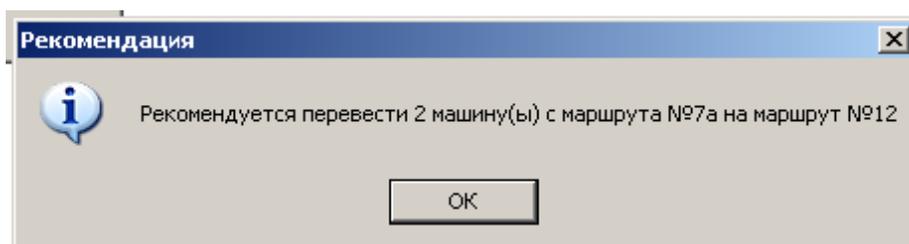


Рис. 3 – Рекомендации по переводу машин с маршрута на маршрут

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балдин, К. В. Математические методы и модели в экономике : учебник / К. В. Балдин, В. Н. Башлыков, А. В. Рукосуев ; ред. К. В. Балдин. – 3-е изд., стер. – Москва : ФЛИНТА, 2024. – 328с.–Режим доступа: URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=103331>
2. Новиков, А. И. Экономико-математические методы и модели : экономико-математические методы и модели : учебник / А. И. Новиков. – 6-е изд. – Москва : Дашков и К°, 2024. – 532 с. : ил., табл., схем. – (Учебные издания для бакалавров). – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=711063>

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ HR-СЛУЖБЫ ООО «ИТ ЦЕНТР»

Сипулин В.И., Жуков П.И.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
vladsipulin059@gmail.com, rockwell@control-mail.ru*

Аннотация. В данной работе рассматриваются основные этапы проектирования информационно-аналитической системы для отдела управления персоналом (HR) ООО «ИТ ЦЕНТР». В работе рассмотрена двухэтапная концепция проектирования такой системы, а также предлагается готовая даталогическая модель базы данных, формирующая ей будущую основу. Предполагается, что на основе предложенной системы, реализованной модульно на основе микросервисов, можно будет получить автоматизированное рабочее место HR-специалиста, интегрировав спроектированную систему с уже существующими решениями.

Ключевые слова: даталогическая модель данных; HR-служба; Web API; резюме соискателей; аналитическая отчетность.

DESIGN OF INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM FOR HR-SERVICE OF «IT CENTR» LLC

Sipulin V.I., Zhukov P.I.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. This paper considers the main stages of designing an information-analytical system for the human resources (HR) department of «IT CENTR» LLC. The paper considers a two-stage concept of designing such a system, and also offers a ready-made database logical data model forming its future basis. It is supposed that on the basis of the proposed system, realized modularly on the basis of microservices it will be possible to get an automated workplace of HR-specialist by integrating the designed system with existing solutions.

Keywords: logical data model; HR-service; Web API; resume of applicants; analytical reports.

Введение

Главная цель исследуемой организации ООО «ИТ ЦЕНТР», входящей в состав группы компаний (ГК) «Summit Group», заключается в максимизации своей прибыли за счёт разработки компьютерного обеспечения. Как и любая другая IT-компания, данная имеет кадровую службу (HR-служба) для обеспечения кадрового резерва и своевременного заполнения вакантных должностей. Основной рабочей единицей HR-отдела является менеджер по подбору персонала, в обязанности которого входит: 1) размещение вакансии на внутреннем портале, платформе «headhunter.ru» и других источниках (например, Telegram); 2) анализ резюме (отклики, холодный поиск); 3) проведение телефонного интервью; 4) проведение собеседований; 5) кадровый профайлинг и другие обязанности.

После опроса сотрудников HR-службы в ООО «ИТ ЦЕНТР», выявлен недостаток текущей практики подбора кадров: отсутствие единой базы данных по кандидатам с внешней среды на вакансии в организации, и возникающие в соответствии с этим сложности с аналитической отчетностью о закрытии этих вакансий. На сегодняшний день, HR-служба компании обладает обширным списком аналитических инструментов, но они никаким образом не связаны между собой, отсутствует единое хранилище информации и нет возможности автоматизировано формировать аналитическую отчетность. Все процессы, связанные с её формированием, выполняются вручную, что ведет к падению эффективности работы менеджеров по подбору персонала.

В соответствии с этим была поставлена цель – разработать информационно-аналитическую систему с возможностью её интеграции с Битрикс24 для оптимизации работы сотрудника HR и дальнейшем масштабированием в автоматизированное рабочее место (АРМ) В данной работе будут представлены мнемосхема двухэтапной работы разрабатываемой системы для сотрудника HR и даталогическая модель данных будущего хранилища резюме.

Суть предлагаемого решения

На рисунке 1 представлена мнемосхема будущей системы, которая работает в два этапа. Резюме соискателя представляет собой набор разнородной информации – личные данные, такие как ФИО, дата рождения, пол и прочее; образование, предыдущие места работы, компетенции, контактные данные и другое. У каждого соискателя может быть несколько контактов (номеров телефона, электронных почт), несколько уровней образования, разного класса компетенции и т.д. Поэтому на 1 этапе резюме, как правило, формата PDF подается на вход стороннего веб-сервиса по работе с резюме (например, «Хантфлоу» [2]) либо нейросетевой системы, анализирующей текстовую информацию,

которые должны выдать резюме в виде пар «ключ – значение» в формате файла JSON, который занимает мало места на дисковом пространстве [3].

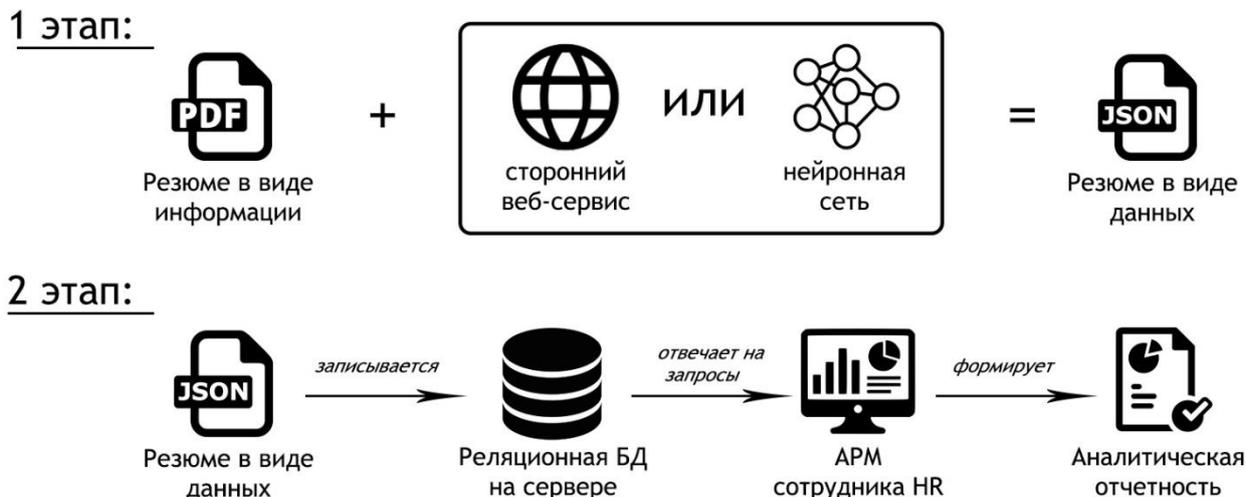


Рис. 1 – Мнемосхема разрабатываемой системы

На втором этапе резюме в виде данных заносится в реляционную базу данных, которая позволяет хранить сведения в согласованном виде. В свою очередь сотрудник HR будет вносить, запрашивать, изменять, удалять информацию в БД посредством веб-интерфейса, цель которого – выдавать аналитическую отчетность по закрытию вакансий. Рассмотрим описание даталогической модели упомянутой выше базы данных (рис.2).

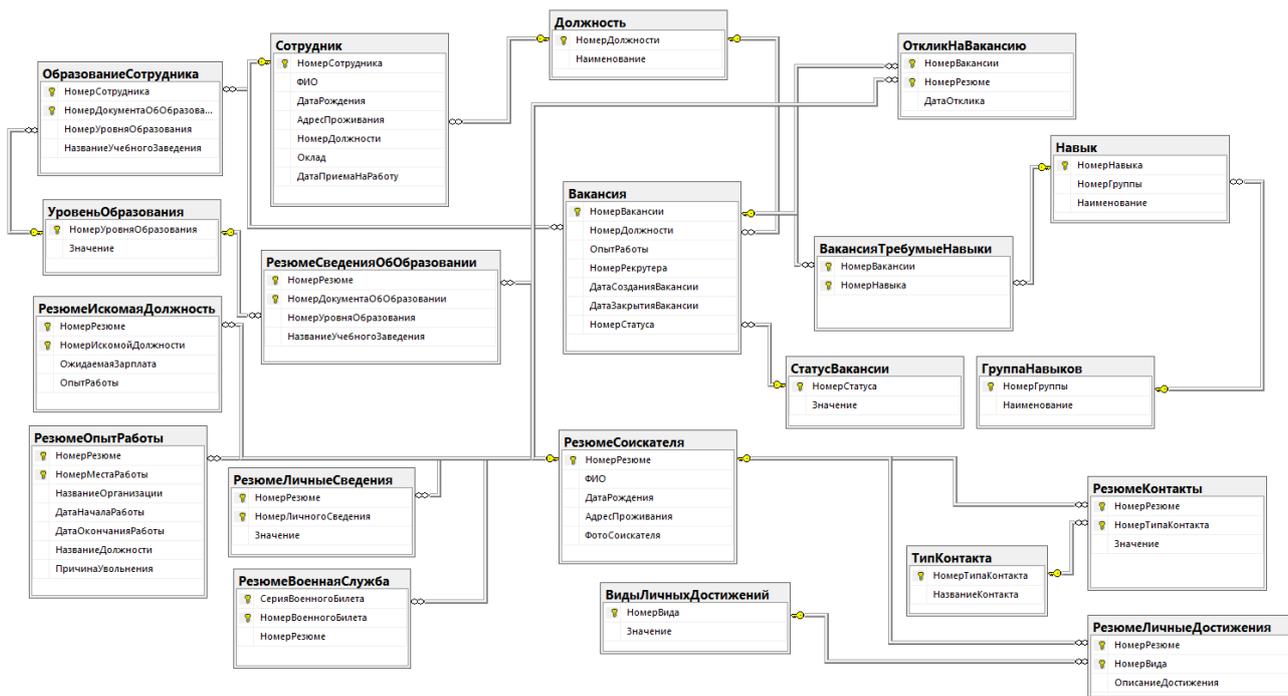


Рис. 2 – Даталогическая модель

Основными сущностями выступают:

- «Должность» – сущность для хранения должностей в организации, кортежи из которого используются при создании записей о сотруднике HR и вакансиях;
- «ВидыЛичныхДостижений» – сущность для сущности «РезюмеЛичные Достижения», которая нужна для предотвращения в ней транзитивной зависимости и хранения указываемых в резюме соискателя его достижений по видам «Диплом», «Сертификат» и прочее;
- «УровеньОбразования» – сущность, которая создана для внесения в сущности «ОбразованиеСотрудника» и «РезюмеСведенияОбОбразовании» таких кортежей об уровнях образования, как «Высшее», «Среднее Профессиональное», «Основное общее» и другие;
- «РезюмеСоискателя» – сущность, хранящая основные сведения о соискателе, выгружаемые из сервиса Битрикс24;
- «ТипКонтакта» – сущность для хранения таких типов контактов, как «Телефон», «Электронная почта», «Аккаунт в социальной сети» и другие для сущности «РезюмеКонтакты»;
- «ГруппаНавыков» – сущность для хранения групп, к которым будут относиться кортежи из сущности «Навык», в сущности, «ГруппыИНавыки»;
- «СтатусВакансии» – справочник для хранения статусов вакансий и их использования, в сущности, «Вакансия».

Все остальные сущности являются вспомогательными.

Итоговыми таблицами для сотрудника HR-службы являются «Вакансия» и «ОткликНаВакансию». Таблица «Сотрудник» хранит данные о сотруднике HR-службы, который работает с вакансиями.

Даталогическая модель данных представлена в 3 нормальной форме [4], чтобы значения атрибутов в отношениях были атомарными, присутствовала функциональная зависимость атрибутов ключевого множества от каждого атрибута неключевого множества и отсутствовала транзитивная зависимость. Нормализация была проведена для исключения возникновения аномалий вставки, удаления и обновления данных.

Реализация упомянутого ранее двухэтапного концепта обработки информации о соискателях планируется в виде платформы микросервисной архитектуры. В качестве основы для взаимодействия микросервисов предполагается использовать Web API [1] на языке программирования C# с использованием фреймворка ASP.NET Core. В контексте веб-разработки Web API обычно представляет собой набор HTTP-методов (GET, POST, PUT, DELETE), которые предоставляют доступ к функциональности сервера.

Особенности Web API: 1) обмен данными между клиентской серверной частями приложения; 2) создание сервисов, которые могут быть использованы различными клиентами; 3) интегрирование различных систем и сервисов посредством единого интерфейса для взаимодействия.

Веб-интерфейс будущей ИАС предполагается разработать с применением паттерна «Model-View-Control» с элементами адаптивного дизайна Bootstrap 5 и серверной составляющей на ASP.NET Core. ИАС будет интегрироваться с сервисом Битрикс24, который представляет собой среду совместной работы сотрудников отделов организации по бизнес-процессам. Для создания на выходе приложения аналитической отчетности, планируется использование REST API Битрикса24 для выгрузки сведений о резюме соискателей, о статусах проведенных «Сделок» с ними и о сотрудниках HR, сопровождающих «Сделки».

Заключение

Разработка ИАС позволит хранить данные резюме соискателей, отклики на вакансии, чтобы на основании прошлых и текущих данных делать аналитическую отчетность, и в соответствии с этим принимать решение по управлению кадрами. Также хранение резюме позволит в будущем проще найти специалиста, тем самым повышая эффективность работы отдела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. What is Web API and why we use it? [Электронный ресурс] // GeeksforGeeks | A computer science portal for geeks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/what-is-web-api-and-why-we-use-it/> (дата обращения: 08.11.2024)
2. Что такое Хантфлоу [Электронный ресурс] // Система автоматизации рекрутмента — Хантфлоу. URL: <https://huntflow.ru/about> (дата обращения: 08.11.2024)
3. Меняйлов Д. В., Преображенский А. П. Сравнительный анализ результатов, полученных при решении задачи анализа тональности текста с помощью сверточной и рекуррентной нейронных сетей // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2021. – Т. 9. – №. 1 (35).
4. Стружкин, Н. П. Базы данных: проектирование : учебник для вузов / Н. П. Стружкин, В. В. Годин. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 477 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00229-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/536006> (дата обращения: 08.11.2024).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА СИГНАЛА ВИБРОУСКОРЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВНЕШНИХ ПОМЕХ И СИЛЫ УДАРА

Соколов Д.И., Полещенко Д.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
newgfsdima@gmail.com, po-dima@yandex.ru*

***Аннотация.** В данной работе приведены результаты измерения сигнала виброускорения в зависимости от влияния внешних помех, приведен анализ изменения сигнала виброускорения и поведения датчика в зависимости от силы удара. Приведено сравнение работы устройства для съема данных виброускорения с разработанным прибором.*

Ключевые слова: Шаровая мельницы; Беспроводной съем сигнала; Виброускорение; Контроль загрузки мельницы.

DETERMINATION OF THE TYPE OF VIBRATION ACCELERATION SIGNAL DEPENDING ON EXTERNAL INTERFERENCE AND IMPACT FORCE.

Sokolov D.I., Poleshchenko D.A.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** This paper presents the results of measuring the vibration acceleration signal depending on the influence of external interference, an analysis of the change in the vibration acceleration signal and the behavior of the sensor depending on the impact force. A comparison of the operation of the device for removing vibration acceleration data with the developed device is given.*

Keywords: Ball mill; Wireless signal acquisition; Vibration acceleration; Mill loading control.

Один из перспективных методов оценки степени заполнения шаровой мельницы основан на анализе вибрационного сигнала корпуса ее барабана. Такие подходы уже рассматривались в ряде работ [1-2]. Разрабатываемые устройства характеризуются низкой

частотой дискретизации, при которой основная несущая частота находится в диапазоне от 0 до 50 Гц. Система сбора данных включает микроконтроллер и внешний аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Для передачи данных используются модули беспроводной связи. Кроме того, для уменьшения влияния помех на сигнал виброускорения в работах [3-4] рекомендуется применение различных комбинаций многослойных керамических конденсаторов и установка демпфирующего резистора в схеме повышающего преобразователя. Практические эксперименты, представленные в работе [5], показали, что сигнал вибрации, измеренный в месте крепления мельницы, подвержен значительным искажениям из-за помех от работы соседних агрегатов. Сигнал виброускорения поверхности барабана мельницы по мнению авторов работы [6] является наиболее помехозащищенным.

В данной работе для измерения сигнала виброускорения был выбран вибропреобразователь AP2037. В качестве измерительного прибора было разработано специальное электронное устройство, которое оцифровывает и передает данные сигнала виброускорения напрямую с барабана шаровой мельницы. Однако первые попытки измерения сигнала виброускорения были сильно подвержены влиянию помех работы самого устройства, результаты работы устройства представлены на рис. 1 и рис. 2.

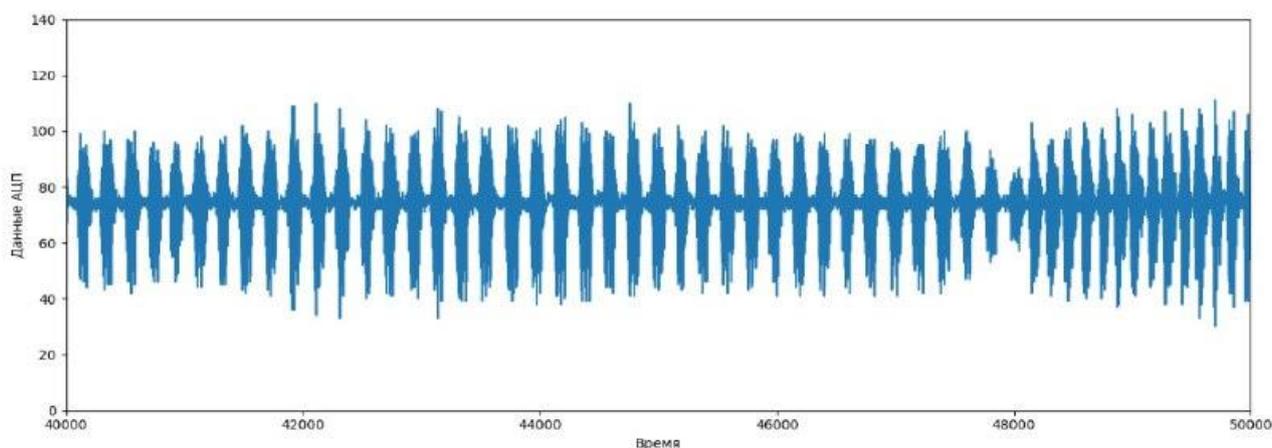


Рис. 1 – Сигнал с АЦП с устранением помех

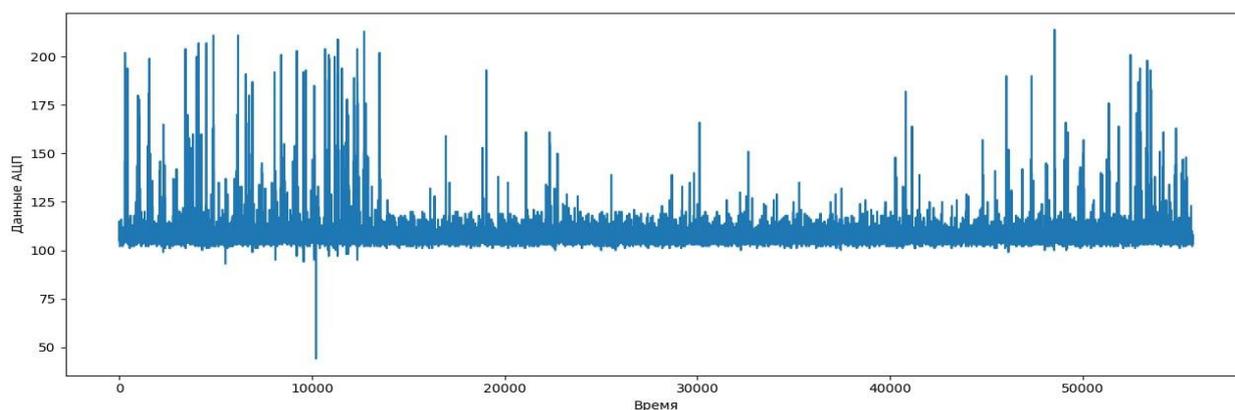


Рис. 2 – Сигнал с АЦП на стабильном источнике вибрации без систем устранения помех

Сильное зашумление сигнала привело к значительному изменению схемы работы устройства. Были добавлены реализация полосового фильтра на входе АЦП, реализация гальванической развязки между модулем беспроводной передачи данных и АЦП. Также для проверки работы как устройства, так и для анализа работы вибропреобразователя были проведены эксперименты с разовыми ударами по вибропреобразователю см. рис 3.

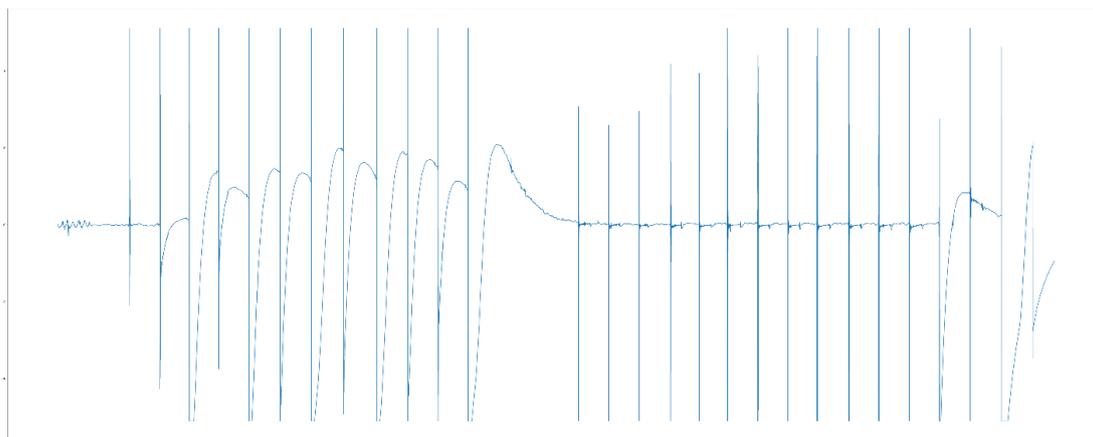


Рис. 3 – Сигнал с вибропреобразователя, измеренный с помощью прибора от National Instruments.

На графике видно, как при сильном ударе на вибропреобразователь наблюдается интегрирование сигнала, что приводит к искажению сигнала вибрации. При этом при снижении силы удара интегрирование пропадает и сигнал возвращается в норму. Для проверки работы прибора также были проведены подобные эксперименты см. рис. 4.

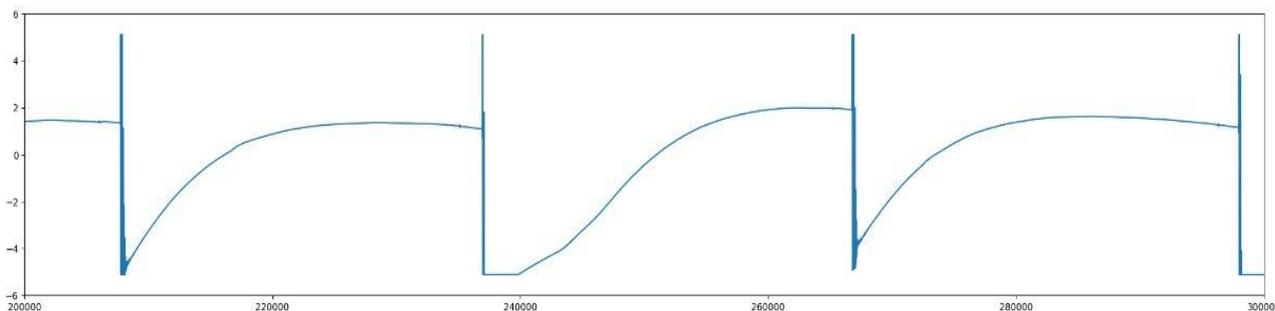


Рис. 4 – Сигнал с вибропреобразователя при увеличении силы удара с помощью разработанного прибора

После проверки работы устройства и датчика прибор был установлен на месте крепления шаровой мельницы см. рис. 5.

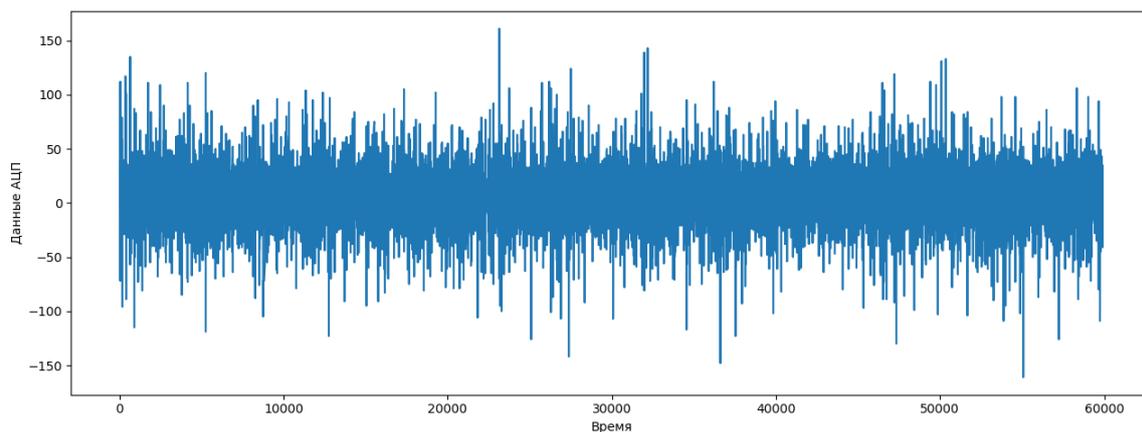


Рис. 5 – Сигнал виброускорения с места крепления шаровой мельницы

В итоге сигнал, полученный с разработанного прибора схож с сигналом, полученных с устройства от National Instruments, что позволяет использовать его в промышленных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Guo K, Zhao Y, Zan Z, Sun J. Development and testing of a wireless rotating triaxial vibration measuring tool holder system for milling process. *Measurement*. 2020 Oct 15; 163:108034.
2. Villarroel A, Zurita G, Velarde R. Development of a low-cost vibration measurement system for industrial applications. *Machines*. 2019 Feb 1;7(1):12.
3. Terasaki M, Oohashi Y, Masuyama Y, Sudo T. Design and analysis for noise suppression of DC/DC converter. In 2014 IEEE Electrical Design of Advanced Packaging & Systems Symposium (EDAPS) 2014 Dec 14 (pp. 109-112). IEEE.
4. Рентюк В. Влияние выбора компонентов, схемотехнического и конструктивного решения на ЭМС современных DC/DC преобразователей. Сборник «Электромагнитная Совместимость в Электронике». 2019:165-79.
5. Полещенко Д.А., Боровинских М.Д, Повышение эффективности работы шаровой мельницы путем совместного использования наблюдателя состояний и экстремального регулятора // Инженерный вестник Дона, 2022, №11, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7964/.
6. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И., Пожарский Ю.М. О возможности определения уровня загрузки шаровой мельницы в результате нейросетевого анализа спектра сигнала виброускорения ее цапфы // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. №216. С. 38-47.

СТРАТЕГИИ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОЙ КОМБИНАЦИЙ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ МОДЕЛИ ПРЕДСКАЗАНИЯ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

Соловьев А.Ю., Цыганков Ю.А., Климов В.Е.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
solovyov.anton@gmail.com, tsy-18@yandex.ru, klimov.studnweb@gmail.com*

***Аннотация.** Были рассмотрены методы выборки признаков в модели классификации, проведена серия экспериментов для получения наилучшей метрики на тренировочной и валидационной выборке. Комбинации признаков, полученные в результате работы методов, не показали существенного улучшения качества работы модели случайного леса.*

Ключевые слова: выборка признаков; машинное обучение; экстракция; f1-мера.

STRATEGIES FOR FINDING OPTIMAL FEATURE COMBINATIONS FOR STUDENT PERFORMANCE PREDICTION MODEL

Soloviev A.Yu., Tsygankov Y.A., Klimov V.E.

*Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)
solovyov.anton@gmail.com, tsy-18@yandex.ru, klimov.studnweb@gmail.com*

***Abstract.** The methods of feature sampling in the classification model were examined, a series of experiments were conducted to obtain the best metric on the training and validation sample. The feature combinations resulting from the methods did not show significant improvement in the performance of the random forest classification model.*

Keywords: feature sampling; machine learning; extraction; f1-measure.

В настоящее время модели машинного обучения используются для выполнения многих задач, в том числе классификации и прогнозирования. В частности, задача прогнозирования решается в работе по классификации студентов на основе данных о контингенте [1]: в какой из 3 кластеров успеваемости попадёт студент. Качество такой модели может зависеть от размера обучающего датасета, его заполненности и количества

признаков: их различные комбинации также могут оказывать влияние на результаты f1-меры рассматриваемой модели.

В статье рассматривается задача нахождения оптимальной комбинации признаков для получения наибольшего результата метрики f1-меры модели предсказания успеваемости студентов. Поставленная задача является разновидностью Feature Selection [2] — методов выборки признаков для снижения размерности модели, выделения наиболее значимых атрибутов, значительного сокращения времени обучения и работы модели, повышения качества результатов. Рассмотрим несколько подходов к решению:

Фильтрация признаков универсальна для большинства моделей и ориентируется на статистические показатели [3]: VarianceThreshold — на основе дисперсии: чем она меньше, тем менее информативен признак, устанавливается пороговое значение дисперсии; SelectKBest — выборка лучших k признаков на основе функции оценки модели. *Объёмный метод* в основном ориентируется на изменение показателя метрики модели, например SelectFromModel — встроенный в библиотеку scikit-learn метод, позволяющий использовать параметр важности признака для его отбора и установить пороговое значение важности. Forward Selection или Backward Elimination — последовательное добавление/удаление признаков, которое достигает наилучшей производительности. Разновидность последовательного удаления признаков — метод RFE (Recursive feature elimination), который рекурсивно отбирает признаки на основе их значимости до тех пор, пока длина их комбинации не станет равной заданному параметру. *Встроенные методы* параллельно обучают модель и отбирают признаки. Некоторые методы могут добавлять определённый штраф к величине ошибки, который будет равен величине регуляризации (Lasso) [4]. Также методы регрессии могут использовать теорему Байеса для определения важности признака (ARD Regression).

Рассматриваемая модель машинного обучения — модель случайного леса с наиболее подходящими гиперпараметрами. Для нашей модели применимы следующие методы: фильтрация признаков — SelectKBest с функциями оценки χ^2 , взаимной информации и классической оценки. Объёмные методы: RFE для заданного числа признаков, RFECV для автоматического определения числа признаков при помощи кросс-валидации, SelectFromModel (SFS) — выборка из модели на основании фильтра важности признака, SequentialFeatureSelector для последовательного отбора признаков с параметрами Forward Selection / Backward Elimination для определения начала отбора выборки.

Для обучающей выборки были получены следующие результаты:

Таблица 1 – Результаты комбинаций методов экстракции признаков

Результаты на обучающей выборке							
Средняя F1-мера из всех кроссвалидационных выборок							
Длина комбинации	SelectKBest		RFE	RFECV	SFS		Прямой перебор комбинаций
	f_classif	mutual_info			Forward	Backward	
2	0.9053	0.8426	0.9053	0.9053	0.9053	0.8956	0.8822
3	0.9053	0.8423	0.8603		0.8919	0.9031	0.9052
4	0.9037	0.8971	0.8769		0.8968	0.8846	0.9052
5	0.9037	0.9020	0.8751		0.8953	0.8969	0.9283
6	0.8830	0.8903	0.8673		0.8937	0.8986	0.9283
7	0.8850	0.8900	0.8676		0.8901	0.9005	0.9295
8	0.8560	0.8738	0.8706		0.8772	0.9015	0.9295
9	0.8601	0.8776	0.8756		0.8754	0.8931	0.9295
10	0.8690	0.8662	0.8788		0.8848	0.8897	0.9357
11	0.8722	0.8734	0.8856		0.8902	0.8934	0.9357
12	0.8988	0.8835	0.8857		0.8855	0.8763	0.9357
13	0.8981	0.8825	0.8874		0.8802	0.8778	0.9283
14	0.8857	0.8816	0.8891		0.8774	0.8710	0.8912
15	0.8907	0.8855	0.8908		0.8762	0.8729	0.8852
16	0.8891	0.8876	0.8891		0.8887	0.8801	0.8782
17	0.8891	0.8891	0.8891				0.8661

Таблица 2 – Результаты комбинации метода экстракции SelectFromModel

SelectFromModel	
Importance Threshold	F1-мера
0.00	0.8891
0.11	0.9053
0.22	0.9053
0.33	0.7577
0.44	0

SelectFromModel	
Importance Threshold	F1-мера
0.56	0
0.67	0
0.78	0
0.89	0
1	0

Для получения результатов была использована кросс-валидация тренировочной выборки с шагом 5. Прямой перебор комбинаций на длине 10, 11 и 12 даёт наилучший результат на обучающей выборке. Наибольший результат метрики для методов отбора RFE с длиной комбинации 2, RFECV с длиной комбинации 2, SelectKBest с функцией оценки f_{classif} равен 0,9053. Стоит рассмотреть подход к лучшему методу не только на основе наилучшей метрики, но и с учётом СКО по 5 кросс-валидационным итерациям. Предположим, что методы отбора с наименьшим значением СКО будут выдавать более последовательные результаты и смогут быть менее подвержены шуму. Введём для каждой итерации метода коэффициент I .

$$I = \frac{f1}{\text{СКО}}; \quad (1)$$

Из формулы (1) чем больше I , тем более надёжным будет высокое значение меры $f1$.

Таблица 3 – Результаты с коэффициентом I

Методы	Длина комбинации	Фильтр важности	Fold-1	Fold-2	Fold-3	Fold-4	Fold-5	Средняя F1-мера	СКО	Коэффициент I
RFE	15		0.892	0.888	0.884	0.892	0.899	0.891	0.005	181.914
RFE	13		0.884	0.879	0.884	0.892	0.899	0.887	0.007	126.733
SelectKBest ()	16		0.892	0.888	0.875	0.892	0.899	0.889	0.008	113.446
SelectKBest ()	17		0.892	0.888	0.875	0.892	0.899	0.889	0.008	113.446
SelectKBest mutual_info	17		0.892	0.888	0.875	0.892	0.899	0.889	0.008	113.446
RFE	14		0.892	0.888	0.875	0.892	0.899	0.889	0.008	113.446
RFE	16		0.892	0.888	0.875	0.892	0.899	0.889	0.008	113.446
RFE	17		0.892	0.888	0.875	0.892	0.899	0.889	0.008	113.446

Методы	Длина комбинации	Фильтр важности	Fold-1	Fold-2	Fold-3	Fold-4	Fold-5	Средняя F1-мера	СКО	Коэффициент I
SelectFromModel		0	0.892	0.888	0.875	0.892	0.899	0.889	0.008	113.446
RFE	11		0.875	0.879	0.884	0.892	0.899	0.886	0.009	102.705

По результатам можно отметить, что наивысший коэффициент I наблюдается у методов, которые не отбирают признаки, а оставляют исходную комбинацию. Рассмотрим наилучшие методы экстракции признаков на валидационной выборке — данных о первом курсе, которые ни одна модель не использовала в процессе экспериментов. Сравним их с контрольной моделью, обученной на всех 17 признаках.

Таблица 4 – результаты проверки на валидационной выборке

Результаты на валидационной выборке			
Методы выборки	Длина комбинации	Параметры	f1-мера
RFE	15		0.8393
RFE	13		0.8393
SelectKBest	16	f_classif	0.8393
RFE	14		0.8393
RFE	16		0.8393
RFE	11		0.8355
SFS	8	forward	0.8589
RFECV	2		0.8066
Прямой перебор	11		0.8356
Контрольная модель	17		0.8467

Прямой перебор, RFECV и RFE показывают метрику на валидационной выборке хуже, чем контрольная модель без выборки признаков. SelectFromModel, который не отображается в результатах предыдущих экспериментов как отличительный метод, показывает метрику на валидационной метрике выше, чем контрольная модель.

В работе были рассмотрены методы выборки признаков в модели классификации, проведена серия экспериментов для получения наилучшей метрики на тренировочной и валидационной выборке. Комбинации признаков, полученные в результате работы методов, не показали существенного улучшения качества работы модели случайного леса. Вероятно, подход с выборкой признаков не является наиболее эффективным в решении проблемы

уменьшения размерности датасета и стоит рассмотреть возможность агломерации признаков в некоторые мета-признаки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Tsygankov Y.A., Solovev A.I., Sergeychik M.S. On the Possibility of Developing a System for Predicting Students Academic Performance Using Machine Learning Methods // 2023 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA'23) - Conference Proceeding. Lipetsk, Russia; 2023. С. 325-327. 2023 IEEE.
2. P. Agrawal, H. F. Abutarboush, T. Ganesh and A. W. Mohamed, Metaheuristic Algorithms on Feature Selection: A Survey of One Decade of Research (2009-2019) // IEEE Access. – 2021. №9. — С.26766-26791.
3. Rizgar R. Z., Adnan M. A., Diyar Q. Z., Dilovan A. Z., Jwan N. S. A Comprehensive Review of Dimensionality Reduction Techniques for Feature Selection and Feature Extraction // Journal of Applied Science and Technology Trends. - 2020. - №01. - С. 56-70.
4. Sheng Dai Variable selection in convex quantile regression: L1-norm or L0-norm regularization? // European Journal of Operational Research. - 2023. - №305. - С. 338-355.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ СКОРОСТЕЙ ДЛЯ ПЯТИЗВЕННОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

Станкевич В.Е., Петров В.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
г. Старый Оскол, Россия, st_vladislav2000@mail.ru*

***Аннотация.** В данной статье рассмотрено решение прямой задачи кинематики с использованием метода Денавита-Хартенберга. Построена кинематическая схема робота, состоящая из пяти звеньев и рабочего органа. Получены матрицы однородного преобразования. Получены матрицы Якоби связывающие скорости звеньев со скоростью обобщенных координат.*

Ключевые слова: прямая задача кинематики; пятизвенный робот-манипулятор; метод Денавита-Хартенберга, матрица Якоби, кинематика скорости.

SOLVING THE PROBLEM OF VELOCITY KINEMATICS FOR A FIVE-LINK ROBOT MANIPULATOR

Stankevich V.E., Petrov V.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** This article considers the solution of a direct kinematics problem using the Denavit-Hartenberg method. The kinematic scheme of the robot, consisting of five links and a working organ, is constructed. Homogeneous transformation matrices are obtained. Jacobi matrices connecting the velocities of the links with the velocity of generalized coordinates are obtained.*

Keywords: direct forward kinematics; five-link manipulating robot; Denavit–Hartenberg parameter, the Jacobi matrix, the kinematics of velocity.

Одна из важных отраслей теории автоматического управления это разработка систем управления многозвенными роботами-манипуляторами [1]. В данной статье будет

рассмотрен самодельный робот-манипулятор, состоящий из пяти звеньев. 3D-модель робота представлена на рисунке 1.



Рис. 1 – 3D-модель пятизвенового робота-манипулятора

Для решения задач по управлению манипулятором, как правило, используют следующее математическое описание [1]:

1. Кинематика, отображающая кинематическую структуру робота;
2. Динамика, описывающая динамическую структуру робота;
3. Электромеханика, которая дает представление о связях электрической и механической частях робота;

Для описания геометрии робота применяют кинематическую схему, которая показывает взаимное расположение звеньев, соединенных между собой сочленениями.

Для описания кинематики робота решают две задачи: прямую задачу кинематики (ПЗК) и обратную задачу кинематики (ОЗК). Прямая задача заключается в расчете координат рабочего инструмента относительно нулевой системы координат при заданных наборах обобщенных координат. Обратная задача заключается в расчете набора обобщенных координат при заданных координатах и пространственной ориентации рабочего инструмента.

В данной статье рассмотрено решение прямой задачи кинематики и задачи кинематики скоростей. В частности, рассмотрено решение прямой задачи кинематики для получения набора линейных и угловых координат пятизвенового манипулятора. Кинематическая модель составлена с использованием метода Денавита-Хартенберга [1]. Для решения ПЗК также составлена кинематическая схема робота (см. рисунок 2).

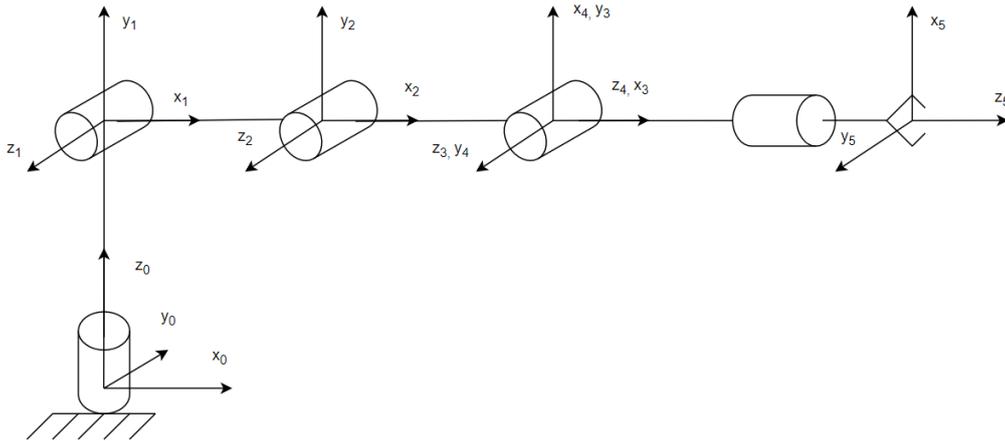


Рис. 2 – Кинематическая схема пятизвенного робота-манипулятора

По полученным параметрам для каждого звена робота построена матрица однородного преобразования от основания к рабочему инструменту.

$$\begin{aligned}
 T_i^{i-1} &= \begin{bmatrix} R_{z,\theta_i} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I & p_{d_i} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I & p_{\alpha_i} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_{x,\alpha_i} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} c_{\theta_i} & -s_{\theta_i} c_{\alpha_i} & s_{\theta_i} s_{\alpha_i} & a_i c_{\theta_i} \\ s_{\theta_i} & c_{\theta_i} c_{\alpha_i} & -c_{\theta_i} s_{\alpha_i} & a_i s_{\theta_i} \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Подставив все параметры, получили n матриц однородного преобразования (1).

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & 0 & \sin(\theta_1) & 0 \\ \sin(\theta_1) & 0 & -\cos(\theta_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & a_2 \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & a_2 \sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) & 0 & a_3 \cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & \cos(\theta_3) & 0 & a_3 \sin(\theta_3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$T_4^3 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_4 + \frac{\pi}{2}) & 0 & \sin(\theta_4 + \frac{\pi}{2}) & 0 \\ \sin(\theta_4 + \frac{\pi}{2}) & 0 & -\cos(\theta_4 + \frac{\pi}{2}) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$T_5^4 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_5) & -\sin(\theta_5) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_5) & \cos(\theta_5) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Итоговая матрица, связывающая все полученные системы координат, получена путем перемножения всех матриц от основания к рабочему органу (2-6).

$$T_n^0(q) = T_1^0(q)T_2^1(q)T_3^2(q)T_4^3(q)T_5^4(q) = \begin{bmatrix} R_n^0(q) & p_n^0(q) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Целью рассмотренных выше задач кинематического анализа было установление связей между положениями систем координат базы и рабочего органа в фиксированных конфигурациях манипулятора. В процессе движения возникает еще одна характеристика, которую необходимо регулировать. Рассмотрим, как связаны между собой скорости обобщенных координат и рабочего органа. Обратим внимание, что скорость системы координат, связанной с рабочим органом, из-за вращательных сочленений имеет как линейную, так и угловую составляющие. Запишем соотношение следующих векторных функций, параметризованных по времени:

$$\chi(t) = J\dot{q}(t) \quad (8)$$

Где $\dot{q}(t) \in R^n$ — вектор обобщенных координат, $\chi(t) \in R^6$ — агрегированный вектор линейных и угловых скоростей рабочего органа, имеющий вид (9).

$$\chi = \begin{bmatrix} v_n^0(t) \\ w_{0,n}^0(t) \end{bmatrix} \quad (9)$$

где $v_n^0(t) \in R^3$ — вектор линейной скорости поступательного движения системы координат n относительно системы 0 , $w_{0,n}^0(t) \in R^3$ — вектор угловой скорости вращательного движения системы координат n вокруг системы 0 , выраженный относительно системы 0 , J — матрица Якоби манипулятора, имеющая вид:

$$J = \begin{bmatrix} J_v(q(t)) \\ J_w(q(t)) \end{bmatrix} \quad (10)$$

откуда следует, что линейная компонента матрицы Якоби манипулятора для сочленения i определяется как:

$$J_{vi} = \frac{dp_n^0}{dq_i} \quad (11)$$

Рассмотрим сумму векторов:

$$p_n^0(t) = p_{i-1}^0 + R_{i-1}^0 p_i^{i-1} + R_i^0 p_n^i \quad (12)$$

Для определения линейной компоненты J_{vi} получили частную производную:

$$J_{vi} = z_{i-1}^0 \times (-p_{i-1}^0 + p_n^0) \quad (13)$$

Благодаря тому, что согласно алгоритму присвоения систем координат метода Денавита-Хартенберга, ось вращения сочленения i совпадает с осью z_i . Тогда угловую скорость $w_{i-1,i}^{i-1}$ можно выразить как:

$$w_{i-1,i}^{i-1} = \dot{q}_i(t)z \quad (14)$$

Где $z = [0 \ 0 \ 1]^T$.

$$w_{0,n}^0(t) = [\sigma_1 z_0^0 \ \sigma_2 z_1^0 \ \sigma_3 z_2^0 \ \dots \ \sigma_n z_{n-1}^0] \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \vdots \\ \dot{q}_n \end{bmatrix} = J_w q(t) \quad (15)$$

Итоговая матрица Якоби имеет вид:

$$J(q) = [J_1(q) \ J_2(q) \ \dots \ J_n(q)] = \begin{bmatrix} J_{v1}(q) & J_{v2}(q) & \dots & J_{vn}(q) \\ J_{w1}(q) & J_{w2}(q) & \dots & J_{wn}(q) \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$J_i(q) = \begin{bmatrix} z_{i-1}^0 \times (p_n^0 - p_{i-1}^0) \\ z_{i-1}^0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Подставив значения в уравнение (17) получили следующие уравнения Якоби:

$$J_{v1} = [z_0^0 \times p_1^0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$J_{v2} = [z_0^0 \times p_2^0 \ z_1^0 \times (p_2^0 - p_1^0) \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$J_{v3} = [z_0^0 \times p_3^0 \ z_1^0 \times (p_3^0 - p_1^0) \ z_2^0 \times (p_3^0 - p_2^0) \ 0 \ 0]$$

$$J_{v4} = [z_0^0 \times p_4^0 \ z_1^0 \times (p_4^0 - p_1^0) \ z_2^0 \times (p_4^0 - p_2^0) \ z_3^0 \times (p_4^0 - p_3^0) \ 0]$$

$$J_{v5} = [z_0^0 \times p_5^0 \ z_1^0 \times (p_5^0 - p_1^0) \ z_2^0 \times (p_5^0 - p_2^0) \ z_3^0 \times (p_5^0 - p_3^0) \ z_4^0 \times (p_5^0 - p_4^0)]$$

$$J_{w1} = [z_0^0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$J_{w2} = [z_0^0 \ z_1^0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$J_{w3} = [z_0^0 \ z_1^0 \ z_2^0 \ 0 \ 0]$$

$$J_{w4} = [z_0^0 \ z_1^0 \ z_2^0 \ z_3^0 \ 0]$$

$$J_{w5} = [z_0^0 \ z_1^0 \ z_2^0 \ z_3^0 \ z_4^0]$$

Где $z_0^0 = [0 \ 0 \ 1]^T$, $z_1^0 = R_1 z_0^0$, $z_2^0 = R_2 z_0^0$, $z_3^0 = R_3 z_0^0$, $z_4^0 = R_4 z_0^0$.

В результате была решена прямая задача кинематики, построена кинематическая модель робота. Также получены уравнения Якоби для каждого звена манипулятора для дальнейшего вывода динамической модели системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Борисов О. И., Громов В. С., Пыркин А. А. Методы управления робототехническими приложениями //Учеб. пособ., СПб.: Университет ИТМО. – 2016.

РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧИ В ТЕКСТ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С НАРУШЕНИЕМ РЕЧЕВОГО АППАРАТА

Стрекозов С.Л., Полещенко Д.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
se1401@yandex.ru, po-dima@yandex.ru

Аннотация. Научная статья посвящена исследованию процесса распознавания речи для людей с нарушением речевого аппарата с использованием нейронных сетей и искусственного интеллекта. Обзор методики, основанной на современных технологиях машинного обучения, способствующая эффективно распознавать и анализировать речь людей с частичной потерей речи.

Ключевые слова: речевой аппарат; нарушение речи; нейронная сеть; искусственный интеллект.

SPEECH-TO-TEXT RECOGNITION FOR PEOPLE WITH SPEECH DISORDERS

Strekozov S.L., Poleshchenko D.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The scientific article is devoted to the study of the speech recognition process for people with impaired speech apparatus using neural networks and artificial intelligence. An overview of a technique based on modern machine learning technologies that helps to effectively recognize and analyze the speech of people with partial speech loss.

Keywords: speech apparatus; speech impairment; neural network; artificial intelligence.

Одним из важных аспектов межличностной коммуникации является способность говорить и понимать речь других людей. В результате вариативности физиологических или неврологических нарушений речевых аппаратов, многие люди сталкиваются с трудностями в общении. Данная дисфункция может привести к значительным проблемам в понимании и выражении мыслей, что негативно сказывается на качестве жизни и социальной адаптации таких людей. По всему миру множество людей страдают от нарушения речевого аппарата,

полной или частичной потери речи и распознавание, понимание речи данных людей является весьма затруднительной и актуальной проблемой на сегодняшний день. В связи с этим, множество исследований посвящены разработке методик и технологий, позволяющих распознать и анализировать речь данной категории людей.

В исследовании рассматриваются основные теоретические и практические аспекты в области распознавания речи, анализа нарушений речевого аппарата, а также применение компьютерной технологии. Также не маловажными аспектами, подлежащими исследованию, являются выбор и анализ методов машинного обучения для обработки и классификации речевых данных. Результаты данного исследования будут эффективны для специалистов и исследователей в области логопедии, неврологии и компьютерного зрения. Представленная методика возможна апробации в реабилитационных центрах и других учреждениях, занимающихся работой с людьми с нарушением речевого аппарата, с целью повышения эффективности и качества речевой терапии.

Искусственный интеллект играет ключевую роль в разработке и реализации данной методики распознавания речи. С его помощью можно достичь высокой точности и эффективности в распознавании речи. Преимуществом использования искусственного интеллекта является способность адаптации, обучению на принципе обратной связи, что позволяет системе улучшать свою производительность с течением времени. Данный аспект является основополагающим. Способность искусственного интеллекта работать практически в реальном времени предоставляет быстрдействие и точность воспроизведения речи в текст и позволяет им оперативно выражать свои мысли и идеи. Методы искусственного интеллекта могут быть использованы для улучшения точности распознавания речи при речевых и языковых нарушениях. Приведены некоторые методы искусственного интеллекта, которые могут использоваться для этой цели: машинное обучение, глубокое обучение, обработка естественного языка, оптимизация моделей и индивидуальная адаптация [1].

Основа технологии Speech-to-Text (из голоса в текст) — нейронная сеть, умеющая переводить голос в текст с помощью сложного механизма обработки и анализа аудиоконтента. Искусственный интеллект помогает преобразовать звуки человеческой речи в буквы и слова, а затем строить на их основе фразы и предложения, которые в итоге складываются в связный текст.

Главная задача нейронной сети, преобразующей человеческую речь в текст, — установить соответствие между буквой и картинкой на спектрограмме аудиозаписи. Чтобы искусственный интеллект мог отождествлять звуки и буквы, нейросеть обучают на первичном наборе данных, состоящем из голосовых аудиозаписей в сочетании с

размеченным текстом. На входе она получает пару из текста и аудио, помогающую установить соответствие между аудиотреком и набором букв.

На этапе обучения нейросети искусственный интеллект разбивает аудиозапись на отрезки из звуков и предсказывает вероятность соответствия их разным буквам. После этих вычислений машина пытается понять слово, сравнивая наборы из вероятных букв со словами в словаре.

Распознанные слова, в свою очередь, складываются в предложения и обрабатываются по смыслу с учетом контекста и знаков препинания.

Чем больше образцов человеческой речи (от людей разного пола, возраста, с разными особенностями произношения и интонациями) собрано в наборе данных, тем точнее она может распознавать сказанное. Если искусственный интеллект обучали на одном языке, вместо распознавания речи на другом получится непонятный набор слов. Чтобы решить эту проблему, нейросеть нужно дополнительно переобучить на данных другого языка.

После обучения проводим тестирование обученной модели на отдельном наборе данных. Оцениваем точность и надежность алгоритма распознавания речи.

В случае неудовлетворительных результатов тестирования, проводим дополнительные итерации обучения, изменяем параметры модели или используем другие алгоритмы распознавания [2].

Одной из наиболее быстроразвивающихся и открытых библиотек языка программирования Python в области Machine Learning (Машинное обучение) является библиотека NeMo (Neural Models), которая представляет собой набор инструментов для создания новых современных моделей разговорного искусственного интеллекта. NeMo имеет отдельные коллекции для моделей автоматического распознавания речи (ASR), обработки естественного языка (NLP) и преобразования текста в речь (TTS).

Также при исследовании необходимо обратить внимание на библиотеки Vosk small, Vosk big, Whisper medium, Whisper adapted medium, Salute citrinet.

В заключение, нейронные сети могут использоваться в методике распознавания речи для людей с нарушением речевого аппарата для улучшения качества и точности распознавания речи и облегчения коммуникации для таких людей.

Также нейронные сети могут использоваться для обучения системы распознавания речи для перевода произнесенных слов и фраз в текстовый формат. Это может быть особенно полезно для людей с нарушенной речью, у которых возникают трудности с пониманием или произношением слов. Нейросети могут улучшить качество распознавания, основываясь на обучении на большом количестве аудио и текстовых данных.

Нейросети могут быть обучены на конкретного пользователя с нарушенным речевым аппаратом для улучшения точности распознавания и адаптации под его индивидуальные особенности. Например, нейросеть может учитывать специфические акценты, особые звуки, которые характерны для человека с нарушением речи [3].

Искусственный интеллект также играет важную роль в методике распознавания речи для людей с нарушениями речевого аппарата. С его помощью разрабатываются более сложные алгоритмы распознавания, которые позволяют оперативно и точно переводить речь на текст или звуковые сигналы. Использование современных технологий, таких как программное обеспечение, нейросети и искусственный интеллект, в методике распознавания речи для людей с нарушениями речевого аппарата существенно улучшает их качество жизни и способствует более эффективному общению. Метод позволяет создать интуитивный и эффективный способ общения и социальной адаптации. Развитие этой методики может играть важную роль в улучшении качества жизни людей с ограниченной возможностью речи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский., пер. И.Д. Рудинский - Москва: Финансы и статистика, 2002. - 343 с.
2. Уклонская Д.В. Восстановление речи при приобретенных анатомических дефектах и деформациях челюстно-лицевой области. - Москва. - ЛОГОМАГ, 2017. -104.
3. Гаркушин Ю.Ф. Методическое пособие. Дети с нарушениями речи: технологии воспитания и обучения. НИИ школьных технологий, 2008. - 192 с.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ НА ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Таранина Н.Г., Какоткин С.А.

*Губкинский Филиал БГТУ им. В.Г.Шухова, Российская Федерация, г. Губкин
ngtaranina@hotmail.com, blualena@yandex.ru*

***Аннотация.** В статье рассматривается современное состояние и перспективы внедрения цифровых технологий в горно-металлургическую отрасль страны. Авторы анализируют ключевые направления цифровизации, а также их влияние на эффективность и безопасность операций. В статье представлены примеры успешных внедрений цифровых решений на горно-металлургических предприятиях Белгородской области: Лебединский и Стойленский ГОКи, что иллюстрирует достижения в оптимизации ресурсопользования, сокращении затрат и повышении производительности. Рассматриваются также трудности и проблемы, с которыми сталкиваются компании при переходе к цифровым технологиям. Статья подчеркивает значимость цифровой трансформации горно-металлургической промышленности как фактора конкурентоспособности в условиях глобальных изменений на рынке.*

Ключевые слова: цифровые технологии; горно-металлургические предприятия; цифровизации в горной промышленности; формирование стратегий; минимизация рисков.

DIGITAL TECHNOLOGIES AND THEIR APPLICATION ON MINING AND METALLURGICAL ENTERPRISES

Taranina N.G., Kakotkin S.A.

*Gubkinsky Branch of BSTU named after V.G.Shukhov, Russian Federation, Gubkin
ngtaranina@gmail.com, blualena@yandex.ru*

***Abstract.** The article examines the current state and prospects for the implementation of digital technologies in the mining and metallurgical industry of the country. The authors analyze the key areas of digitalization, as well as their impact on the efficiency and safety of operations. The article presents examples of successful implementation of digital solutions at mining and metallurgical enterprises of the Belgorod region: Lebedinsky and Stoilensky GOKs, which illustrates achievements in optimizing resource use, reducing costs and increasing productivity. The difficulties and problems that companies face in the transition to digital technologies are also*

considered. The article emphasizes the importance of digital transformation of the mining and metallurgical industry as a factor in competitiveness in the context of global changes in the market.

Keywords: digital technologies; mining and metallurgical enterprises; digitalization in the mining industry; formation of strategies; minimizing risks.

Металлургия имеет огромное значение для экономики любого государства. В особенности от нее зависит развитие таких отраслей как машиностроение, ТЭК, строительство. Однако, горная промышленность — это не только источник сырья, а еще и катализатор прогресса в области информационных технологий и экологических решений.

По данным отчета «Цифровизация горно-металлургической отрасли России» от международной консалтинговой компании «Яков и партнеры» и ГК «Цифра» основанном на результатах опросов и интервью топ-менеджеров компаний отрасли примерно 75% респондентов увеличили бюджеты программ цифровизации в 2022-2023 годах. Каждой третьей горно-металлургической компании в стране цифровизация приносит более 3% EBITDA (EBITDA — прибыль, которая не уменьшена на проценты по кредитам, налоги и амортизацию, отражает общую успешность предприятия и способность выполнять обязательства) [1].

1. Формирование стратегий цифровизации для горнодобывающих предприятий.

Российская многопрофильная технологическая группа «Рексофт» (Reksoft), оказывающая услуги в области цифровой трансформации, в мае 2023 года опубликовала на официальном сайте компании [2] результаты опроса 138 руководителей ИТ и бизнес-подразделений предприятий горнодобывающих отраслей. Результаты показали, что большинство компаний далеки от полномасштабного использования цифровых технологий:

- 27% респондентов - процессы цифровизации находятся на начальном уровне;
- 33% респондентов – цифровизации произведена только по ключевым процессам;
- 31% предприятий находятся на стадии формирования своей цифровой стратегии.

2. Основные направления цифровизации в горной промышленности.

2.1. Промышленный интернет вещей (IIoT).

Интернет вещей (IIoT) — это система, которая объединяет устройства в компьютерную сеть и позволяет им с помощью встроенных и наружных датчиков собирать, анализировать, обрабатывать и передавать данные другим объектам через программное обеспечение, приложения или технические устройства. Согласно мнению экспертов, с 2024 года промышленный IIoT займет лидирующие позиции среди других сегментов, применяющих эти технологии. В 2025 году прогнозируется количество промышленных

подключений на уровне 14 миллиардов. Внедрение IoT-технологий позволяет осуществлять мониторинг и контроль различных параметров металлургического производства, таких как температура, давление, плотность и другие. Устройства IoT способствуют сбору больших объемов данных, которые можно проанализировать для выявления аномалий. Таким образом, технологии IoT содействуют оптимизации производственных процессов.

2.2. Цифровые двойники.

Цифровые двойники пользуются спросом в секторах с непрерывным производственным циклом. В металлургической отрасли они дают возможность смоделировать работу не только конвертеров, печей и прокатных станов, но и всего производственного процесса в целом. Это, в свою очередь, позволяет создавать точные прогнозы эффективности работы оборудования, снижать затраты и повышать производительность предприятия.

2.3. Компьютерное зрение.

Помогает проводить измерения, сравнивать размеры и формы, определять месторасположения объектов, распознавать маркировку. Вместе с другими технологиями ИИ компьютерное зрение может контролировать качество продукции, обеспечивает безопасность производства и снижает количество ошибок, зависящих от человеческого фактора.

2.4. Автоматизация и роботизация

Внедрение автоматизации и робототехники в процессы добычи и производства повышает безопасность и эффективность этих процессов. Можно отметить:

- применение дронов для беспилотной съемки месторождений;
- применение автономных грузовиков, погрузчиков, манипуляторов и др., что позволяет проводить работы в тяжелых и опасных для человека условиях;
- применение роботизированных устройств для мониторинга состояния окружающей среды

2.5. Аналитические системы больших данных (Big Data).

Анализ больших данных в металлургической отрасли может быть применен на любом этапе производственной цепочки. Он позволяет предсказывать спрос на продукцию, опираясь на исторические данные о предыдущих заказах и рыночные тенденции. Это способствует более точному планированию производства металлической продукции, помогает устанавливать оптимальные параметры производства, предотвращать поломки оборудования, простои и аварии. Также на основе анализа данных можно разрабатывать новые составы и структуры материалов, соответствующие заданным требованиям. Использование аналитических инструментов позволяет сделать более обоснованные

прогнозы, что сказывается на различных уровнях управления и формировании стратегических решений и снизить риски.

3. Управление рисками с использованием цифровых технологий.

Применение цифровых технологий значительно улучшает управление рисками в сфере безопасности труда и охраны окружающей среды. Системы мониторинга, основанные на ИТ-технологиях, в режиме реального времени могут получать данные о ходе производственных процессов, а также следить за состоянием здоровья рабочих. Это обеспечивает:

- Своевременное выявление потенциальных угроз, как связанных с преждевременной или случайной поломкой техники, так и связанных с фактором усталости или плохого самочувствия работников;
- Автоматическое оповещение о чрезвычайных ситуациях;
- Контроль за экологическими факторами и показателями, а также оптимизацию технологий в соответствии с экологическими нормами.

4. Примеры применения информационных технологий в Белгородской области.

Основу горно-металлургического комплекса Белгородской области составляют акционерные общества: комбинат «КМА-руда», Лебединский ГОК, Стойленский ГОК, Оскольский электрометаллургический комбинат, строящийся Яковлевский рудник.

Лебединский ГОК - крупнейший российский горно-обогащительный комбинат по добыче и обогащению железной руды. Единственный в России и СНГ производитель горячебрикетированного железа (ГБЖ). Стойленский ГОК – один из лидеров по производству железорудного сырья в России, главный поставщик сырья НЛМК (Группа НЛМК — высокотехнологическая международная металлургическая компания, крупнейший в России производитель стальной продукции.)

Внедрение ГГИС (Горно-геологическая информационная система) и технология моделирования на Лебединском ГОКе повысили точность горного планирования и расчётов результатов взрывных работ, увеличили производительность и снизили себестоимость горных работ, повысилась оперативность управления техническими и экономическими рисками отработки карьера и обоснованность принятия решений. Здесь активно применяется автоматизированная система управления горнотранспортным комплексом, позволяющая отслеживать статус оборудования и немедленно реагировать на любые отклонения в работе техники. Внедрение автоматизированной системы управления буровыми работами позволило повысить производительность буровых станков, снизить периоды простоя оборудования, повысить оперативность и качество проектирования.

На Стойленском ГОКе система ИИ на основе машинного зрения применяется для оптимизации загрузки самосвалов и думпкаров. Система может оценивать не только процент загрузки, но и ее правильность, т.е. сравнивать качество загрузки с «паспортом загрузки». Система определяет расстояния, такие как отступы загруженной породы от бортов карьерных самосвалов, количество и размер негабаритных кусков и сравнивает с указанными в паспорте. Это позволяет оповестить о возможных проблемах машиниста экскаватора и своевременно скорректировать нагрузку, а также оповестить о возможных рисках водителя самосвала или машиниста тягового агрегата. [3].

5. Специфика и трудности внедрения цифровых технологий в горнодобывающей отрасли.

По данным, уже упомянутого, отчета «Цифровизация горно-металлургической отрасли России» [1] главной сферой внедрения цифровых решений сейчас и в ближайшие три-четыре года - производство: 70% респондентов инвестируют в цифровые технологии в производстве и только 30% в области промышленной безопасности и экологии. В ответ на санкции многие компании начали собственную разработку ПО для диспетчеризации техники, управления ремонтами и т.п.

Основными проблемами отмечаются:

- дефицит кадров для цифровых проектов по всем специальностям;
- уход западных вендоров горной техники и встроенных систем;

Заключение

Глубокая интеграция цифровых решений в бизнес-процессы позволит обеспечить устойчивое развитие данного сектора, повысив его эффективность и безопасность. Для успешной реализации этих изменений необходимо дальнейшее сотрудничество между научным сообществом, правительством и бизнесом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Цифровизация горнометаллургической отрасли России / Натрусов Н. [и др.] // отчет УнР и ГК "Цифра": Цифровизация ГМК - pdf-документ [Электронный ресурс]. URL: https://yakov.partners/upload/iblock/65d/y170r0z1xy1p1z8ip2ax3n8bkf79mrlp/in_digital_we_trust.pdf - Режим доступа: свободный. - (дата обращения 13.11.2024).

2. Карамышев Д. Итоги опроса о потребностях цифровизации российских предприятий, работающих в добывающей индустрии. /«Рексофт» официальный сайт компании - [Электронный ресурс]. URL: <https://www.reksoft.ru/blog/2023/05/18/digital-strategy-for-mining-industry/> - Режим доступа: свободный. - (дата обращения 13.11.2024).

3. Стаценко Н. Цифровая экосистема для горняков: как НЛМК применяет искусственный интеллект на Стойленском ГОКе // RB.RU -независимое издание о технологиях и бизнесе - [Электронный ресурс]. URL: <https://rb.ru/story/nlmk/> - Режим доступа: свободный. - (дата обращения: 13.11.2024).

4. Крылова Е. А. Система ПоТ как эффективный инструмент развития промышленности / Е. А. Крылова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый: электронный научный журнал. — 2019. — № 43 (281). — С. 179-181. [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/281/63433/> Режим доступа: свободный. - (дата обращения: 13.11.2024).

5. Балашов А.М. Вопросы внедрения аналитических систем больших данных и других достижений цифровизации для повышения эффективности бизнеса горнодобывающих компаний. // Горная промышленность: рецензируемый научно-технический и производственный журнал – 2024. - №3:139–142. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-139-142> - Режим доступа: свободный. - (дата обращения 13.11.2024).

ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Тетеревлева Е.В., Бурмистрова О.Н., Отев К.С.

«Ухтинский государственный технический университет», Ухта, Россия

***Аннотация.** Интеграция распределенной генерации с системами электроснабжения является важной темой, особенно в свете перехода к более устойчивым и экологически чистым источникам энергии. Распределенная генерация относится к источникам электроэнергии, которые расположены близко к месту потребления, таким как солнечные панели, ветряные турбины и небольшие гидроэлектростанции. Интеграция распределенной генерации требует комплексного подхода и сотрудничества между правительством, частным сектором и местными сообществами, чтобы создать устойчивую и надежную энергетическую систему.*

Ключевые слова: распределённая энергия; электрическая энергия; комбинированная генерация; распределенная генерация; качество электроэнергии.

APPLICATION OF DISTRIBUTED GENERATION IN POWER SUPPLY SYSTEMS

Teterevleva E.V., Burmistrova O.N., Otev K.S.

"Ukhta state technical university", Ukhta, Russia

***Abstract.** Integrating distributed generation with electricity systems is an important topic, especially in light of the transition to more sustainable and environmentally friendly energy sources. Distributed generation refers to sources of electricity that are located close to the point of consumption, such as solar panels, wind turbines and small hydroelectric power plants. Integrating distributed generation requires an integrated approach and collaboration between government, the private sector and local communities to create a resilient and reliable energy system.*

Keywords: distributed energy; electrical energy; combined generation; distributed generation; power quality.

Перспективным направлением развития современной российской энергетики является строительство объектов распределенной генерации. Для более полного представления о решениях, предложенных в данной статье, будем использовать концепцию «энергетического

центра». Концепция «энергетического центра» может быть использована для описания различных аспектов, связанных с управлением энергией, ее распределением и влиянием на системы. В этом контексте энергетические центры могут представлять собой ключевые элементы или технологии, которые обеспечивают устойчивое и эффективное использование энергии[2].

Технической единицей малой распределенной энергетики могут быть локальные энергосистемы, которые могут быть представлены различными комбинациями генерирующих, сетевых объектов и других установок, и оборудования. Такие энергосистемы являются энергетическими центрами и могут взаимодействовать с единой энергосистемой с использованием технологий «микросети».

Взаимодействие объектов распределенной комбинированной генерации с сетью предусматривает возможность обеспечения технических характеристик, позволяющих работать параллельно с другими генераторами, включенными в сеть, и участвовать в поддержании этих условий в случае возможных нарушений режима работы энергосистемы.

При параллельной работе необходимо рассчитать возможности конкретного типа генерирующего источника:

1. Изменение нагрузки с заданной скоростью (маневренность);
2. Автоматическое изменение нагрузки для поддержания заданной частоты в энергосистеме;
3. Время включения генератора в заданном режиме сети из различных состояний, возможность синхронизации с энергосистемой (в том числе путем самосинхронизации);
4. Поддержание заданного уровня напряжения на шинах генератора (регулирование реактивной мощности) и автоматическое принудительное включение возбуждения с целью поддержания стабильности энергосистемы;
5. Система защиты и автоматизации;
6. Система сбора, обработки и передачи информации о текущем состоянии генерирующего объекта;
7. Система выработки централизованно установленных управляющих воздействий.

В зависимости от условий эксплуатации объектов распределенной комбинированной генерации с энергосистемой различают три типа режимов работы:

1. Работа в энергосистеме, когда объект распределенной комбинированной генерации соединен с другими электростанциями короткими линиями электропередачи, пропускная способность которых достаточна для обеспечения полной мощности распределенной комбинированной генерации генерирующий объект и достаточные резервы стабильности («сильное» подключение);

2. Работа в энергосистеме со «слабым» подключением к другим электростанциям, т.е. на маломощных или протяженных линиях электропередачи;

3. Автономная работа.

Активно-адаптивная электрическая сеть представляет собой современную концепцию распределённых энергетических систем, которая интегрирует различные компоненты для достижения высокой степени эффективности, надежности и устойчивости в процессе передачи и распределения электрической энергии. Активно-адаптивная электрическая сеть - это совокупность линий электропередачи, подключенных к генерирующим источникам и потребителям электрической энергии, устройствам электромагнитного преобразования электроэнергии, коммутационным аппаратам, устройствам защиты и автоматики, информационным технологиям и системам управления [3]. Этот комплекс, являющийся ядром технологической инфраструктуры электроэнергетики, благодаря сочетанию централизованного и распределенного автоматизированного управления всей энергосистемой, обеспечивает адаптивное реагирование, в том числе в режиме реального времени, на различные рода помехи и отклонения от заданных параметров. Управляющие воздействия, являющиеся результатом обработки различной информации, поступающей от информационно-измерительной системы активно-адаптивной сети, обеспечивают надежную и экономичную параллельную работу всех объектов, образующих электроэнергетическую систему.

При переходе на активно-адаптивные сети распределенные комбинированные генерирующие мощности будут использоваться для решения проблем поддержки напряжения в слабых сетях, возможности участия в регулировании пиковых нагрузок энергосистемы в соответствии с графиком, выдаваемым системным оператором, регулирования реактивной мощности при среднем напряжении и снижения потерь во время передача электроэнергии по высоковольтным сетям, резервирование электроснабжения выделенных потребителей на случай аварий в высоковольтных сетях.

В настоящее время при организации параллельной работы объектов распределенной комбинированной генерации и систем электроснабжения необходимо соблюдать ряд условий, зависящих от технологических особенностей рассматриваемого источника энергии, с учетом выработки тепловой и электрической энергии. Сформулируем требования к объектам распределенной комбинированной генерации на примере газопоршневых установок, рассмотренных ранее как наиболее подходящие с точки зрения энергоэффективности. Газопоршневые установки могут быть эффективно работающими элементами систем электроснабжения, если к ним своевременно предъявить пакет специальных технических требований:

1. Все установки с двигателями внутреннего сгорания и газопоршневыми установками имеют моменты инерции, значительно меньшие, чем у всех паротурбинных и многих газотурбинных установок. Это обстоятельство приводит к тому, что возрастает риск нестабильности работы генераторов газопоршневых агрегатов, возникновения асинхронного режима в электрической сети и, соответственно, риск возникновения аварии с нарушениями электроснабжения. Соответствующие аварийные меры в принципе известны, но их тип, возможность и целесообразность применения определяются конкретными условиями;

2. На газопоршневой установке генераторы приводятся в движение двигателями внутреннего сгорания с турбонаддувом. В таких приводах возможности передачи электрической нагрузки существенно ограничены. Следовательно, необходимо учитывать эти ограничения при выборе установленной мощности газопоршневой установки исходя из конкретных условий энергопотребления;

3. В последнее время производители газопоршневых установок устанавливают на генераторы очень чувствительные защиты, которые срабатывают даже при небольших и кратковременных отклонениях параметров режима от заданных. Это норма. С такой защитой, даже слабой и неопасные скачки напряжения в сети могут привести к отключению газопоршневой установки. Но особенно важно, что при таких защитах поршневые агрегаты не могут служить резервным (аварийным) источником электроснабжения, так как при изменении нормальной нагрузки, питании, запусках газовых агрегатов или остановках электродвигателей срабатывают эти защиты, отключаются все генераторы.

Эти особенности объектов распределенной комбинированной генерации следует учитывать при проектировании, в том числе при расчете средств разделительной защиты в случае аварийного отделения объекта распределенной комбинированной генерации от энергосистемы. Также необходимо оптимизировать основное оборудование и его защиту для успешной работы в системах распределенной генерации.

Рассматривая влияние распределенной генерации на качество электрической энергии, стоит отметить две наиболее актуальные проблемы: мерцание напряжения и гармоники [3]. При достаточно большой доле распределенной генерации в системе электроснабжения некоторые электроприемники могут ощущать скачки напряжения из-за того, что распределенная генерация подвержена частым и значительным изменениям. Несмотря на то, что снижение мерцания напряжения является сложной и многогранной задачей, можно прибегнуть к самому простому методу – уменьшению количества срабатывающих источников в распределенном объекте комбинированной генерации. Если распределенный объект комбинированной генерации взаимодействует с сетью через преобразователь, то относительно легко добиться снижения пусковых токов.

Силовые электронные устройства, используемые в объектах распределенной комбинированной генерации, могут вызывать гармоники, амплитуда и порядок гармонических токов в этом случае зависит от режима работы. Современные технологии, такие как IGBT-транзисторы, позволяют использовать более высокие несущие частоты, которые позволяют генерировать достаточно чистые синусоиды в соответствии со стандартом.

Таким образом, сравнивая влияние объектов распределенной комбинированной генерации и нагрузки с сопоставимыми значениями, можно сделать вывод, что в целом влияние распределенной генерации на качество электроэнергии должно быть более положительным, чем эквивалентная нагрузка.

Использование объектов распределенной комбинированной генерации в качестве источников тепловой и электрической энергии в энергоцентрах окажет положительное влияние на единую энергетическую систему России с точки зрения интеграции и синхронизации таких объектов с единой национальной электрической сетью, что, в частности, позволит решить следующие проблемы:

1. Устранить необходимость в наращивании избыточных генерирующих мощностей и связанную с ними электросетевую инфраструктуру, в том числе за счет бюджетных средств;
2. Предоставлять возможности для более гибкого управления нагрузками в электрических сетях;
3. Компенсация части сетевых потерь;
4. Решение вопросов энергоснабжения в изолированных районах.

При этом будут обеспечены нормативные и технические условия для эффективной и экономически обоснованной интеграции таких объектов в единую энергетическую систему России. Распределенная генерация имеет ряд преимуществ перед централизованной: она технологически более гибкая и позволяет решать проблемы дефицита электроэнергии в региональном масштабе. Хорошо известно, что энергосистема с достаточным количеством небольших генераторов может работать с той же степенью надежности, но с меньшей суммарной мощностью, чем энергосистема, основанная исключительно на мощных генераторах. В то же время высокая степень автоматизации и простота технического обслуживания делают эти установки более свободными от человеческого фактора при эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Горяев, А. Б. Разработка когенерационной установки для получения электрической энергии и пресной воды / А. Б. Горяев, М. В. Горелов, О. Д. Матухнова // Промышленная энергетика. – 2022. – № 11. – С. 41-49. – DOI 10.34831/EP.2022.92.39.007.
2. Моторина, Н. П. Анализ показателей качества электроснабжения/ Н. П. Моторина, Е. В. Тетеревлева // Цифровая трансформация в энергетике : материалы Четвертой Международной научной конференции, Тамбов, 21 декабря 2022 года. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2023. – С. 74-76.
3. Тетеревлева, Е. В. Анализ технических требований по обеспечению качества электрической энергии / Е. В. Тетеревлева, Н. П. Моторина, К. С. Отев // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство : Материалы девятнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Старый Оскол, 07 декабря 2022 года. – Старый Оскол: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 2023. – С. 530-535.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ УСТРОЙСТВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В СИСТЕМУ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Тетеревлева Е.В.¹, Моторина Н. П.², Отев К. С.¹

¹ «Ухтинский государственный технический университет», Ухта, Россия

² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Аннотация. Современная малая распределенная генерация становится все более популярной. Она основана на использовании различных типов когенерационных установок, а также на использовании возобновляемых источников энергии. В работе рассматривается вопрос перевода объектов малой генерации на комбинированный режим. Небольшие когенерационные установки, предназначенные для снабжения электрической и тепловой энергией отдельных потребителей, обладают большим потенциалом, но из-за отсутствия алгоритма выбора наиболее оптимального решения для определенных условий они реализуются как отдельные источники.

Ключевые слова: тепловая энергия; электрическая энергия; комбинированная генерация; распределенная генерация; качество электроэнергии.

IMPROVING THE QUALITY OF ELECTRICITY WHEN INTEGRATING DISTRIBUTED GENERATION DEVICES INTO THE POWER SUPPLY SYSTEM

Teterevleva E.V.¹, Motorina N.P.², Otev K.S.¹

¹ "Ukhta state technical university", Ukhta, Russia

² Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. Modern small distributed generation is becoming increasingly popular. It is based on the use of various types of cogeneration units, as well as the use of renewable energy sources. The paper considers the issue of transferring small-generation facilities to a combined mode. Small cogeneration plants designed to supply electrical and thermal energy to individual consumers have great potential, but due to the lack of an algorithm for selecting the most optimal solution for certain conditions, they are implemented as separate sources.

Keywords: thermal energy; electrical energy; combined generation; distributed generation; power quality.

При формировании стратегии развития систем электроснабжения одним из важнейших этапов является анализ их текущего состояния. В процессе этого анализа следует выявить слабые места и технический потенциал системы в целом. Спрос на электроэнергию ежегодно увеличивается в связи со строительством и расширением крупных промышленных объектов, а также развитием близлежащей инфраструктуры. Как правило, для удовлетворения этого спроса необходимо использовать различные источники энергии. В ряде регионов России существует проблема в неудовлетворительном состоянии распределительных сетей напряжением 35 кВ и ниже. В связи с этим происходят перебои в подаче электроэнергии и ухудшается качество электроэнергии. Эта проблема может быть решена путем преобразования малых и средних котельных в объекты комбинированной выработки тепловой и электрической энергии, что позволит значительно сократить затраты на строительство объектов электроснабжения и распределительных сетей.

Централизованное электроснабжение, основанное на комбинированном производстве тепловой и электрической энергии, является наиболее перспективной формой теплоснабжения, что подтверждается традиционной схемой использования тепловых электростанций. Такой подход позволяет значительно сократить потребление органического топлива и снизить выбросы вредных веществ за счет более высокого коэффициента использования топлива по сравнению с раздельной схемой электроснабжения.

Предел эффективности любого технологического решения меняется в зависимости от целого ряда факторов развития технологий, изменения стоимости ресурсов и развития инфраструктуры. Этот процесс является объективной закономерностью. Анализ опыта развития развитых стран показал, что зона эффективности комбинированного производства тепловой и электрической энергии переместилась на уровень мегаватт. В некоторых странах совместное производство тепловой и электрической энергии требуется по закону [1].

В то же время в России производство электрической и тепловой энергии в основном дифференцировано, а механизмы комбинированной выработки тепловой и электрической энергии из источников питания не разработаны и законодательно не закреплены. Целесообразно рассматривать в качестве перспектив дальнейшее развитие систем электроснабжения совместно с внедрением объектов малой распределенной генерации.

Одним из наиболее перспективных направлений является использование когенерационных установок малой и средней мощности, которые могут снизить затраты на производство энергии на 45%. Стоит отметить, что если объекты средней мощности

рассматривались как отдельные проекты, то объекты малой мощности ранее не рассматривались в таких исследованиях.

Перевод объектов малой генерации на комбинированный режим позволит не только добиться высокой топливной экономичности и увеличить использование установленной мощности, но и снизить нагрузку на окружающую среду. Когенерационные установки используются для модернизации существующих систем электроснабжения с целью обеспечения комбинированной выработки тепла и электроэнергии, при этом доля вырабатываемой электроэнергии составляет от 6 до 34% от общего объема энергии, соответственно, в отопительный и неоперительный периоды [2]. Когенерационные установки могут быть реализованы на базе котлов различных типов и мощностей.

В установке реализована схема тепловой когенерации с дополнительным сжиганием топлива в топке котла в атмосфере отходящих газов, при этом номинальная тепловая мощность котла обеспечивается за счет подачи свежего воздуха в топку котла с помощью продувочных вентиляторов. Котел обеспечивает минимальную тепловую нагрузку только за счет использования тепла выхлопных газов надстройки, т.е. без сжигания топлива в котле.

Независимо от нагрузки котла, электрическая мощность надстройки считается номинальной во всех режимах, хотя принципиальных ограничений на изменение этого параметра нет. Для определения основной целевой группы источников энергии, которые могут быть преобразованы в объекты распределенной комбинированной генерации, существует классификация по их энергоэффективности [4]. Для всех источников энергии общими являются следующие критерии: вид используемого топлива, мощность и характер потребления тепла. Поскольку мощность и все последующие показатели работы котельной напрямую зависят от вида используемого топлива, то примем его за основной показатель энергоэффективности источника питания.

Стоит отметить, что увеличение тепловой нагрузки, то есть увеличение количества сжигаемого топлива, не всегда приводит к положительным результатам. Одновременно с увеличением тепловой мощности самого котла увеличиваются и потери тепла, которое уходит с дымовыми газами, поскольку их температура пропорциональна балансу температур оборудования. Эффективность отопительного оборудования снижается. То же самое происходит при работе на малой мощности. Если мощность будет ниже рабочей более чем на 15%, это приведет к неполному сгоранию топливного вещества, и, соответственно, к прямому увеличению объема дымовых газов, что также снизит эффективность работы отопительного оборудования, нанесет ущерб окружающей среде, финансовые затраты.

Следует отметить, что система подготовки и подачи топлива не меняется при преобразовании котельной в распределенную комбинированную электростанцию, но

эффективность выработки как тепловой, так и электрической энергии зависит от качества и технических характеристик топлива. Поэтому при переводе котельных на объекты распределенной комбинированной генерации особое внимание следует уделить системе подготовки топлива с точки зрения улучшения его технических характеристик.

Возможен переход на режим комбинированного производства тепловой и электрической энергии на основе технологических решений с использованием: паротурбинных установок, газотурбинных агрегатов, парогазовых установок, дизель-генераторных установок, газопоршневых установок. Сравнение эффективности надстроек котлов, основанных на различных технологиях, проводилось по параметру максимального количества вырабатываемой электроэнергии при заданном потреблении тепла. Для этой цели было рассмотрено соотношение между теплом и электричеством, вырабатываемыми когенерационной установкой в номинальном режиме. Анализ показал, что количество электроэнергии, вырабатываемой с помощью газовой турбины или парогазовой установки, больше, чем вырабатываемой паровыми турбинами с обратным давлением при том же потреблении тепла, в то время как газотурбинные и парогазовые установки могут устанавливаться в котлах с паровыми или водогрейными котлами. Для эффективной работы паровых турбин с противодавлением необходим круглогодичный расход пара, который может быть обеспечен на промышленных предприятиях с постоянным техрасходом.

Сравнение зависимости от удельного веса наиболее материалоемких альтернативных электростанций (дизельных и газопоршневых) показывает, что даже без учета веса парового котла, обеспечивающего подачу пара на турбины, эти установки в 2,5-3 раза тяжелее поршневых двигателей мощностью менее 5 МВт. Стоимость их единицы продукции меняется примерно в той же пропорции. В случае совместного производства электроэнергии и пара для промышленных целей или электроэнергии и тепла для отопления паровые турбины с противодавлением и паровые турбины с противодавлением с промышленным отбором пара могут использоваться с достаточной экономической эффективностью, если график работы потребителя тепловой энергии обеспечивает достаточно полную загрузку.

Проведем сравнение эффективности газопоршневых агрегатов с газотурбинными установками по использованию потребляемого тепла для выработки электроэнергии:

1. КПД газопоршневого двигателя мощностью 5-8 МВт составляет 40-45%, что значительно выше, чем у современных газотурбинных установок (26-42%). Когда нагрузка на агрегаты падает, КПД газопоршневого двигателя снижается значительно меньше, чем у газотурбинной установки. Например, при снижении электрической нагрузки агрегатов в 2 раза (со 100 до 50% от номинальной мощности) КПД газопоршневого двигателя снижается менее значительно, чем у газотурбинной установки.

2. Эффективность газопоршневого двигателя практически не зависит от температуры окружающей среды. В диапазоне температур от -30 до $+30^{\circ}\text{C}$ она колеблется в пределах 1% и начинает заметно снижаться только при повышении температуры воздуха выше $+30^{\circ}\text{C}$. КПД газотурбинной установки в одном и том же температурном диапазоне варьируется примерно на 2 %.

3. Количество циклов пуска-остановки газопоршневого двигателя практически не влияет на срок его службы и практически не влияет на износ деталей. В свою очередь, каждый запуск газовой турбины при ее остановке сокращает ресурс 5-часового набора полной нагрузки после запуска поршневого двигателя на 2-3 минуты.

Недостатком когенерационных установок с газопоршневыми двигателями является то, что их максимальная удельная мощность не превышает 8 МВт, что значительно меньше, чем у когенерационных установок на базе газотурбинной установки.

По мнению ПАО «Газпром», имеющего опыт эксплуатации объектов распределенной генерации, газопоршневое оборудование имеет преимущества с точки зрения единичной мощности до 5 МВт. Следует отметить, что КПД в 39% достигается на газопоршневых установках при мощностях от 0,5 МВт, а на лучших образцах газотурбинных установок такие показатели достигаются при единичных мощностях более 13-15 МВт [3]. Таким образом, при мощности в один мегаватт газопоршневая установка обладает не только более высоким КПД по сравнению с турбинами, но и лучшими эксплуатационными и динамическими характеристиками, позволяя более эффективно и с меньшими затратами корректировать график выработки электроэнергии. В свою очередь, газотурбинные надстройки водогрейных котлов являются эффективным решением для крупной котельной мощности более 70 – 100 Гкал/час (80 – 116 МВт). Отсутствие надлежащей институциональной базы и финансовой поддержки для развития когенерации также является препятствием для активного продвижения когенерации в российских регионах.

Таким образом, когенерационные установки представляют интерес для муниципальной энергетики с точки зрения выработки тепла, а также для региональных и федеральных интересов с точки зрения производства электроэнергии. Бесспорно, что прежняя ориентация на разработку только схем и программ развития электроэнергетики без какой-либо связи с прогнозом теплоснабжения на муниципальном и региональном уровнях является ошибочной. Такие выводы сделаны в связи с отсутствием методических подходов к реализации инженерных решений по вводу в эксплуатацию когенерационных установок малой мощности на базе существующих котельных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Данилова, Е. Н. Причины и преимущества в использовании когенерационных установок в промышленной энергетике / Е. Н. Данилова // Научный Лидер. – 2021. – № 24(26). – С. 48-50.
2. Когенерационная установка как переходное звено зеленой энергетики / Л. В. Пахомова, В. Р. Пичхадзе, А. А. Атамурзаева, А. А. Хоменков // Новые возможности и достижения в области естественных и технических исследований : Сборник научных статей. – Краснодар : ИП Кабанов В.Б. (издательство "Новация"), 2024. – С. 283-286.
3. Тетеревлева, Е. В. Повышение эффективности электроснабжения систем транспорта нефти на объектах нефтедобычи / Е. В. Тетеревлева, К. С. Отев // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2023. – Т. 19, № 2(72). – С. 38-45. – DOI 10.53015/18159958_2023_19_2_38.
4. Тетеревлева, Е. В. Учет влияния возобновляемых источников электроэнергии на качество электроснабжения / Е. В. Тетеревлева, К. С. Отев // Естественные и технические науки. – 2023. – № 8(183). – С. 147-149. – DOI 10.25633/ETN.2023.08.10.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА У ПАЦИЕНТОВ С ДИЗАРТРИЕЙ

Уваров А.В., Михайлов И.С., Михайлюк Е.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
uvarowandrii@yandex.ru, mikhaylov.is@yandex.ru

Аннотация. В данной работе приведено исследование современных подходов к распознаванию речи, адаптированные для пользователей с дизартрией.

Ключевые слова: Automatic Speech Recognition (ASR); дизартрия.

ANALYSIS OF SPEECH RECOGNITION METHODS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PATIENTS WITH DYSARTHRIA

Uvarov A.V., Mikhailov I.S., Mikhailyuk E.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. This paper presents a study of modern approaches to speech recognition adapted for users with dysarthria.

Keywords: Automatic Speech Recognition (ASR); dysarthria.

Детский церебральный паралич (ДЦП) – распространенное нарушение двигательной функции у детей, влияющее на качество жизни пациентов и их семей. Технологии искусственного интеллекта (ИИ) могут предоставить новые методы реабилитации, обучения и поддержки. Машинное обучение, компьютерное зрение и робототехника открывают новые возможности для инновационных решений, включая персонализированные программы реабилитации, умные устройства и системы мониторинга. Интерактивные обучающие программы и ассистивные технологии могут помочь детям с ДЦП более эффективно учиться и адаптироваться.

Дизартрия — это нарушение речевой функции, вызванное нарушением работы нервной системы, что затрудняет контроль мышц, участвующих в речевом процессе. Часто встречается у людей с ДЦП и проявляется в виде замедленной, смазанной или нечёткой речи.

Это создаёт трудности в общении и снижает качество жизни пациентов. Применение технологий ИИ, таких как машинное обучение и нейронные сети, позволяет улучшить распознавание речи у людей с дизартрией, помогая им более эффективно взаимодействовать с окружающими и используя ассистивные технологии для общения.

Актуальность данного исследования заключается в изучении и обобщении современных изобретений в области методов реабилитации пациентов с ДЦП с целью выявления тенденций и возможностей их дальнейшего развития. Особое внимание в работе уделяется современным достижениям и перспективам применения технологий искусственного интеллекта для повышения качества жизни людей с детским церебральным параличом в области распознавания речи у пациентов с дизартрией.

Русский язык, как и многие другие языки, имеет множество территориальных разновидностей, что создает трудности в обработке речи. Технология автоматического распознавания речи (ASR) сталкивается с проблемами при обработке диалектов, местных говоров, койне и акцентов. ASR преобразует аудиосигналы с речью в текстовый вывод, позволяя людям взаимодействовать с компьютерами и устройствами голосом. Несмотря на достижения ASR, она сталкивается с вызовами, такими как акценты, диалекты, шум и нечеткость речи [1].

Некоторые из новейших методов в области автоматического распознавания речи:

1. Искусственный интеллект (AI) и машинное обучение (ML)

AI и ML — ключевые технологии, на которых основаны многие современные методы ASR. Эти технологии позволяют моделям учиться на больших объемах данных, распознавать сложные шаблоны речи и адаптироваться к особенностям пользователей.

- Глубокие нейронные сети (DNN): одна из самых распространенных технологий в ASR. DNN эффективно обрабатывают большие объемы данных и могут выявлять сложные структуры в речи, что способствует повышению точности распознавания.

- Универсальные языковые модели (ULM): модели, обученные на множестве языков и диалектов. Они улучшают точность ASR для неанглийских языков и обеспечивают более широкую языковую поддержку.

2. Сверхкороткие импульсы (Ultra-short pulses)

Этот инновационный метод использует сверхкороткие лазерные импульсы для записи и воспроизведения звука, что может повысить точность и надежность ASR.

3. Настройка на устройстве (On-device tuning)

Настройка ASR непосредственно на устройстве пользователя повышает точность и обеспечивает защиту конфиденциальности данных.

4. Использование контекста (Contextual information)

В этом методе применяется контекстная информация (местоположение, время суток, предыдущие взаимодействия) для повышения точности распознавания.

5. Обучение с подкреплением (Reinforcement learning)

Методы обучения с подкреплением позволяют системе улучшать свои результаты на основе обратной связи, что положительно сказывается на точности ASR.

Дизартрия особенно затрудняет использование ASR для людей с умеренными и тяжелыми нарушениями речи. Технологии ASR значительно продвинулись от распознавания отдельных слов и цифр до применения методов глубокого обучения [2].

Проект STARDUST [3] представляет систему, использующую обучение говорению для улучшения распознавания речи у людей с тяжелой дизартрией с применением скрытых марковских моделей (Hidden Markov Models, HMMs). В работе [4] рассмотрено устройство VIVOSA, предназначенное для преобразования данных в устную речь, а система CanSpeak [5], не требующая обучения, работает на основе ключевых слов, адаптированных для каждого пользователя.

Подход Supplemented Speech Recognition (SSR) [6] сочетает адаптированное под дизартрию распознавание речи, алфавитное дополнение и предсказание слов. Экономия нажатий клавиш при использовании SSR составила около 68% для типичных и нетипичных фраз, что превосходит результаты предсказания слов отдельно. SSR достигла 81% точности распознавания слов, при этом пользователи с разной степенью дизартрии достигали схожей экономии нажатий.

Согласно анализу авторов [7], большинство исследований в области распознавания речи ранее использовало мел-кепстральные коэффициенты (Mel Frequency Cepstral Coefficients, MFCC) как основные признаки. В данной работе вместо MFCC используются акустические признаки, которые позволяют оценить степень голосовых колебаний, в отличие от возбуждения, вызванного турбулентным шумом. Данный подход устойчив к нерегулярностям в голосовых колебаниях. Показатель GNE (Glottal-to-Noise Excitation Ratio) является надежной мерой для определения уровня шума даже при сильных изменениях амплитуды и периодичности. Применение HMM позволило достичь средней точности распознавания речи 92,1%, используя метрику Recognition Rate (RR). Метрика RR определяется как отношение количества правильно распознанных слов к общему числу слов в тестовом наборе. При использовании нейронных сетей достигнута точность распознавания речи в 88% для тех же данных пациентов с дизартрией.

В работе [8] для улучшения качества дизартрической речи применяется техника EMDH, основанная на эмпирическом разложении по модам и выборе мод на основе характеристики Херста. После EMDH из речи извлекаются MFCC, служащие признаками

для сверточной нейронной сети. Предложенный подход EMDH-CNN на корпусе Nemours показал улучшение общей точности на 20,72% по сравнению с системой HMM-GMM и на 9,95% по сравнению с CNN без модуля улучшения. Для оценки улучшения качества использовались метрики SNRseg и PESQ, которые продемонстрировали превосходство EMDH над другими техниками.

В исследовании [9] предложена гибридная архитектура для распознавания речи, сочетающая сети-трансформеры и технику CTC, обученные на корпусе UASpeech с дизартрической речью. Трансформер использует механизм самовнимания для работы с ограниченными данными, а CTC справляется с вариативностью речи и точно предсказывает последовательности символов или слов. Модель показала высокую точность распознавания с минимальными значениями WER: 1,22% для высокой разборчивости, 6,45% для средней, 1,78% для низкой и 15,67% для очень низкой разборчивости. В будущем планируется интеграция системы с устройствами AAC для улучшения коммуникации людей с нарушениями речи.

В ходе анализа были выявлены следующие проблемы и ограничения.

Изменчивость дизартрической речи. Значительная изменчивость среди носителей дизартрии представляет собой основную проблему для систем автоматического распознавания речи. Речь с дизартрией может демонстрировать существенные различия в произношении и артикуляции из-за таких факторов, как тип заболевания, прогрессирование, усталость и прием лекарств. Эти различия затрудняют обобщение акустических моделей, что затрудняет адаптацию систем ASR к индивидуальным характеристикам говорящего.

Дефицит данных. Критическое ограничение в разработке эффективных систем ASR для дизартрической речи — это дефицит доступных речевых данных. Требование больших наборов данных для обучения надежных моделей нелегко выполнить, поскольку число носителей дизартрии относительно невелико по сравнению с общей популяцией. Этот дефицит влияет на способность обучать модели, которые могут хорошо обобщать различные дизартрические профили, тем самым влияя на общую производительность системы.

Анализ самих методик показывает, что интеграция глубокого обучения и нейронных сетей позволяет разрабатывать модели, которые могут адаптироваться к индивидуальным особенностям речи пациентов. Это в свою очередь открывает перспективы для создания более доступных и эффективных систем распознавания речи, которые могут быть использованы в повседневной жизни и реабилитации.

Однако необходимо учитывать и вызовы, с которыми сталкиваются эти технологии, такие как доступность, финансирование и индивидуальные различия в потребностях пациентов. В целом, применение технологий искусственного интеллекта для улучшения

качества жизни людей с ДЦП является многообещающим направлением. Эти технологии помогают людям с ограниченными физическими возможностями стать более независимыми и активными участниками общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Валуйцева И. И., Филатов И. Е. Разработка программы ASR для распознавания вариантов русского языка //Полилингвильность и транскультурные практики. – 2021. – Т. 18. – №. 3. – С. 245-254.
2. Jaddoh A., Loizides F., Rana O. Interaction between people with dysarthria and speech recognition systems: A review //Assistive Technology. – 2023. – Т. 35. – №. 4. – С. 330-338.
3. Parker M. et al. Automatic speech recognition and training for severely dysarthric users of assistive technology: The STARDUST project // Clinical linguistics & phonetics. – 2006. – Т. 20. – №. 2-3. – С. 149-156.
4. Hawley M. S. et al. Development of a voice-input voice-output communication aid (VIVOCA) for people with severe dysarthria //Computers Helping People with Special Needs: 10th International Conference, ICCHP 2006, Linz, Austria, July 11-13, 2006. Proceedings 10. – Springer Berlin Heidelberg, 2006. – С. 882-885.
5. Hamidi F. et al. CanSpeak: a customizable speech interface for people with dysarthric speech //Computers Helping People with Special Needs: 12th International Conference, ICCHP 2010, Vienna, Austria, July 14-16, 2010. Proceedings 12. – Springer Berlin Heidelberg, 2010. – С. 605-612.
6. Fager S. K. et al. Evaluation of a speech recognition prototype for speakers with moderate and severe dysarthria: A preliminary report //Augmentative and Alternative Communication. – 2010. – Т. 26. – №. 4. – С. 267-277.
7. Nidhyananthan S. S., Shenbagalakshmi V., Kumari R. S. S. Automatic speech recognition system for persons with speech disorders: artificial neural networks and hidden markov model //International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Т. 10. – №. 45. – С. 31920-31924.
8. Sidi Yakoub M. et al. Improving dysarthric speech recognition using empirical mode decomposition and convolutional neural network //EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing. – 2020. – Т. 2020. – С. 1-7.
9. Vinotha R., Hepsiba D., Anand V. Empowering Dysarthric Communication: Hybrid Transformer-CTC based Speech Recognition System. – 2023.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ВСХОЖЕСТИ КАРТОФЕЛЯ

Устимов В.Ю.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
s1900918@edu.misis.ru*

***Аннотация.** В этой статье описываются нейросетевые методы, такие как YOLOv4-tiny и YOLOv5s, для определения хороших и плохих кустов картофеля. Визуализация с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и многоспектральных камер эффективна для мониторинга сельскохозяйственных культур и оценки всхожести картофеля. Применение улучшенного индекса вегетации и анализ изображений с использованием методов опорных векторов (SVM) и множественной линейной регрессии позволяют оценить количество саженцев.*

Ключевые слова: индекс площади листьев (LAI); нейросетевые методы; YOLOv4-tiny; YOLOv5s; беспилотные летательные аппараты (БПЛА); многоспектральные камеры; метод опорных векторов (SVM); множественная линейная регрессия (MLR); анализ изображений; сегментация; детектирование; распознавание объектов.

USING NEURAL NETWORK METHODS TO ANALYZE POTATO GERMINATION

Ustimov V.U.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** This article describes neural network methods such as YOLOv4-tiny and YOLOv5s to identify good and bad potato bushes. Visualization using unmanned aerial vehicles (UAVs) and multispectral cameras is effective for monitoring crops and evaluating potato germination. The use of an improved vegetation index and image analysis using support vector machine (SVM) and multiple linear regression methods make it possible to estimate the number of seedlings.*

Keywords: leaf area Index (LAI); neural network methods; YOLOv4-tiny; YOLOv5s; unmanned aerial vehicles (UAVs); multispectral cameras; support vector machine (SVM); multiple linear regression (MLR); image analysis; segmentation; detection; object recognition.

Индекс площади листьев (LAI) — важный показатель состояния растительности, фотосинтеза, накопления биомассы и урожайности. Он используется для оценки концентрации азота в растениях при выращивании картофеля.

Для определения хороших и плохих кустов картофеля применяют нейросетевые методы, такие как YOLOv4-tiny и YOLOv5s. Эти архитектуры имеют высокую производительность и требуют меньше времени для обучения. Однако для успешного применения нейронных сетей необходимы качественные обучающие данные с различными фонами, объектами и условиями освещения.

Визуализация с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) эффективна для мониторинга сельскохозяйственных культур, включая оценку всхожести картофеля. Использование многоспектральных камер позволяет подсчитывать растения и оценивать покрытие полога, но однородность всходов может быть ограничена.

БПЛА, оснащенный датчиком RGB-изображения, был применен для подсчета пшеницы и саженцы рапса на стадии появления всходов. В обоих исследованиях применялся улучшенный индекс вегетации, т.е. избыток зеленого минус избыток красного для отделения зеленого полога от почвы.

Несколько морфологических признаков были рассчитаны и смоделированы с использованием метода опорных векторов (SVM) и множественной линейной регрессии (MLR) для оценки количества саженцев [1].

В исследованиях ранее было разработано надежное программное обеспечение для анализа изображений БПЛА на основе Random Forest для расчета скорости появления всходов, оценки покрытия полога растений и оценки равномерности появления всходов. Затем эта система анализа изображений была применена к данным трех крупных полевых экспериментов, которые оценивали точность оценки всходов растений по сравнению с ручной оценкой и объективно исследовали различия в скорости появления всходов и равномерности появления всходов при различных сортах и режимах внесения питательных веществ.

Применение нейросетевых методов анализа изображений содержит длительный этап подбора формата изображений, структур нейронных сетей, гиперпараметров и метода исследования изображений. Воспользуемся опытом предыдущих исследований и наметим путь решения текущей задачи анализа изображений кустов картофеля.

По опыту анализа изображений можно сделать несколько выводов [2]:

1. Применение детектирования к анализу изображения кустов картофеля невозможно, так как кусты картофеля на фотографии находят друг на друга, и граница не

будет располагаться ровно над кустом картофеля. Иными словами, данный метод анализа изображений является недейственным на данным изображениях.

2. Применение сегментации изображений.

Данный метод является более трудоемким по сравнению с детектированием, но на данных изображениях должен показать большую работоспособность.

3. Сочетание сегментации с детектированием.

Данный метод является максимально эффективным на изображениях с большим количеством объектов на одном изображении в минимальном расстоянии друг от друга.

Сегментации разобьет изображения в два цвета черный и белый и после применения сегментации станет возможным выделением границ объектов.

При необходимости результат применения детектирования возможно перенести на первоначальное цветное изображение.

Сделаем итог по обработке изображения – первоначально необходимо испытать сегментацию, а после результатов сегментации, рассмотреть возможность применения детектирования [4].

Пример изображения показан на рисунке 1.



Рис. 1 – Пример фотографии из набора первоначальных данных

Рассмотрим вариант следующего применения нейронных сетей к анализу восхождения кустов картофеля (см. рис. 2).

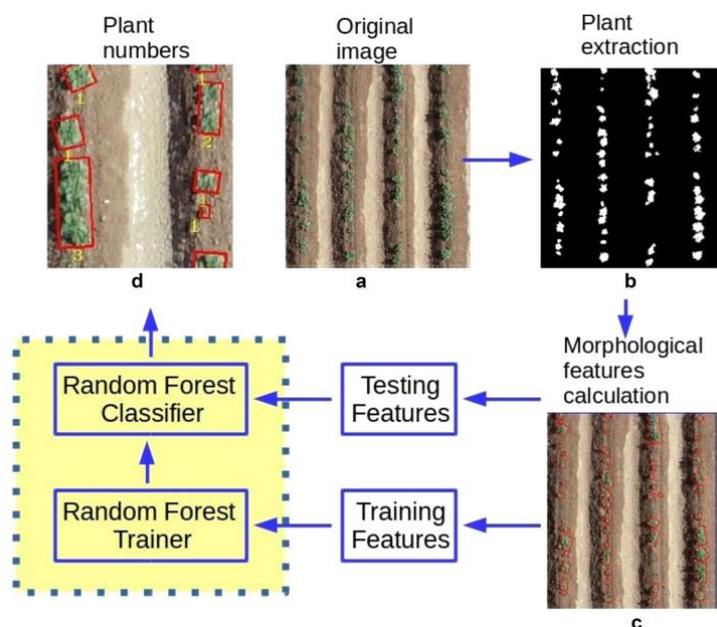


Рис. 2 – Предлагаемый алгоритм обработки изображения

Алгоритм работы, описанный на рисунке 2, состоит из следующих этапов:

- Применение сегментации к полученным изображениям. Пример применения сегментации показан на рисунке 3.

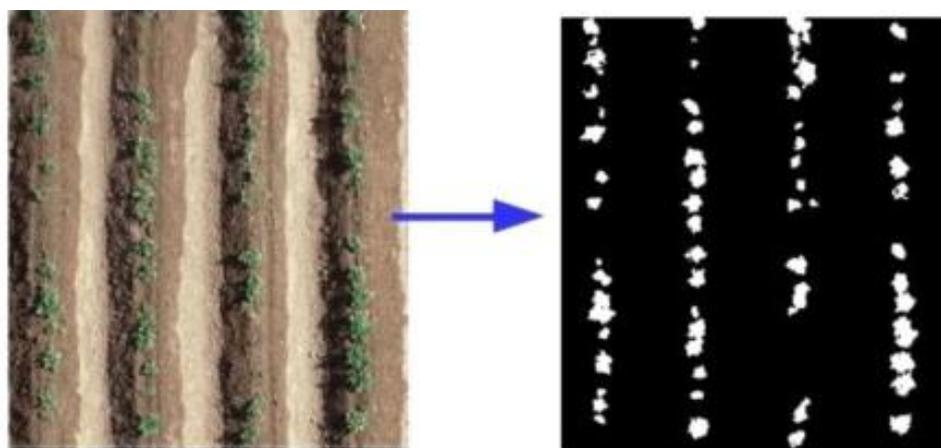


Рис. 3 – Пример применения сегментации

- Следующий этап обработки связан с применением детектирования.

При детектировании необходимо перенести границы объектов с бинарного изображения на исходное, а также подогнать ограничивающую рамку под границы объекта на изображении.

Пример применения данного способа обработки изображения показан на рисунке 4.

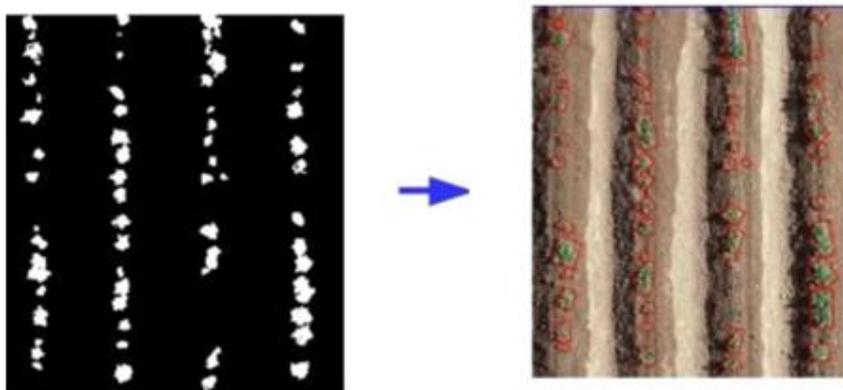


Рисунок 4 – Пример применения детектирования к бинарному изображению

- Последний этап – это подсчет площади поля, где взошли саженцы картофеля к общей площади поля.

Для определения реального размера изображения существует методика пересчета с пикселей на реальные метражи на основании метаданных, полученных с помощью БПЛА.

- Ожидаемый результат от программы представлен на рисунке 5.

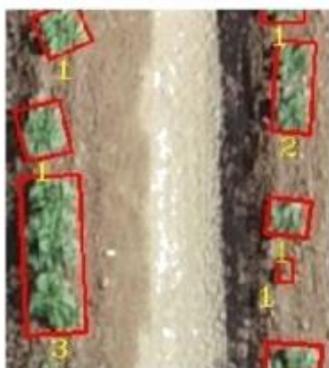


Рис. 5 – Ожидаемый результат от работы нейронной сети

- Для анализа работоспособности алгоритма детектирования будем использовать алгоритм IoU.

IoU – это отношение количества пикселей, предсказанных интеллектуальной системой распознавания, и исходного истинного изображения [5].

Значение показателя может находиться в диапазоне от 0 до 100 процентов, где 0 процентов будет показывать, что маска нейронной сети не перекрывает исходную, а 100 процентов свидетельствует, что они полностью совпали.

На основании изложенного в данной статье можно сделать вывод, что работа в данном направлении является плодотворной и имеющей результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. The estimation of crop emergence in potatoes by UAV RGB imagery. [Электронный ресурс]. – URL: <https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13007-019-0399-7>.
2. Использование нейронной сети для выявления больных растений картофеля. [Электронный ресурс]. – URL: <https://agrarnayanauka.ru/ispolzovanie-nejronnoj-seti-dlya-vyya/>.
3. A review of remote sensing for potato traits characterization in precision agriculture. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.871859/full>.
4. Определение вида заболеваний, поражающих листья картофеля, с использованием алгоритмов машинного обучения. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-vida-zabolevaniy-porazhayuschih-listya-kartofelya-s-ispolzovaniem-algoritmov-mashinnogo-obucheniya>.
5. РАСПОЗНАВАНИЕ КАЧЕСТВА КАРТОФЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ. [Электронный ресурс]. – URL: <https://scholar.sfu-kras.ru/publication/46695987/fulltext>.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ

Федосов И.В., Цыганков Ю.А., Мякотина М.В.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
fedosova.ivan@mail.ru

***Аннотация.** Прогнозирование распространения новой коронавирусной инфекции (COVID-19) имеет важное значение для принятия своевременных системных профилактических и противоэпидемических мер как на региональном, так и на федеральном уровне с целью снижения заболеваемости и смертности. В работе выполняется сравнительный анализ инструментов построения системы прогнозирования количества новых случаев заражения на основе официальных значений с целью информирования лиц, принимающих решения.*

Ключевые слова: прогнозирование; статистика заболеваемости; система.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR MONITORING AND PREDICTION MORBIDITY

Fedosov I.V., Tsygankov Y.A., Myakotina M.V.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** Forecasting the spread of a new coronavirus infection (COVID-19) is important for taking timely systemic preventive and anti-epidemic measures at both regional and federal levels to reduce morbidity and mortality. In this paper we analyze comparative analysis of tools for building a system for forecasting the number of new infections based on official values to inform decision makers.*

Keywords: prediction; morbidity statistics; system.

Прогнозирование заболеваемости — одна из самых актуальных и сложных проблем здравоохранения и разделов социально-экономического прогнозирования [1-3]. В современных условиях особую актуальность приобретают новые методы и подходы к прогнозированию и моделированию распространения новых типов заболеваний и их влияния

на мировую экономику, состояние здоровья населения, ресурсные и технологические возможности, а также эффективность управленческих мероприятий по ее контролю со стороны здравоохранения, промышленности и правительств разных стран и регионов мира [4,5]. Целью настоящего исследования является прогнозирование уровня заболеваемости в России. Для этого было выполнено изучение и обобщение имеющегося отечественного опыта прогнозирования и моделирования заболеваемости населения, проведен анализ основных методов и подходов к прогнозу, применяемых моделей. После чего предпринята попытка выделить наиболее значимые из предложенных методов и моделей, а также очертить область их применения [6].

Материалами для проведения анализа являлись научные публикации и другие источники литературы по вопросам прогнозирования и моделирования заболеваемости в различных подгруппах населения и территориях Российской Федерации.

Данные для обучения системной модели собраны с официальных порталов и ресурса Университета Джонса Хопкинса. Она включает 13 признаков для оценки динамики заражения и летальности, а также скорости их прироста в разных странах и отдельных регионах Российской Федерации.

Прогнозирование на основе машинного обучения и прецедентов представляет несколько способов [1]:

- статистические методы прогнозирования;
- прогнозирование на основе машинного обучения и прецедентов;
- прогнозирование на базе фильтрации - любые временные ряды заболеваемости можно рассматривать как случайный процесс, состоящий из сигнала, отражающего реальную эпидемическую обстановку, и высокочастотного шума. Фильтрация шума позволяет уточнить прогноз и может выполняться как в ходе предварительной обработки исходных данных, так и в составе самого алгоритма прогнозирования;

- математическое моделирование распространения инфекции - так как все вышерассмотренные техники можно отнести к общим методам анализа временных рядов. Они не учитывают специфические свойства, присущие эпидемическим процессам, и опираются только на значения наблюдаемых показателей уровня заболеваемости. В том или ином виде они могут применяться при прогнозировании данных любой природы;

- Смешанные техники прогнозирования. Рассмотренные методы используются как в чистом виде, так и в форме многочисленных модификаций и комбинаций.

В результате изучения источников было выявлено, что наиболее часто встречающимися моделями являются [7]:

1. Модель на основе машинного обучения CatBoost. С её помощью можно краткосрочно предсказать число заражённых COVID-19 на период до 14 дней. Для обучения модели используют данные с официальных порталов и ресурса Университета Джонса Хопкинса [8].

2. Модель CBRR (Case-Based Rate Reasoning). С её помощью учёные Центра интеллектуальной логистики СПбГУ прогнозируют распространение COVID-19 в России, основываясь на данных о развитии эпидемии в странах, где болезнь зафиксировали раньше [8-9].

Итоговой задачей исследования будет являться построение модели, способной максимально достоверно с прогнозировать значения распространений коронавируса в России. Данная модель может быть использована не только для прогнозирования пандемии новой коронавирусной инфекции, но и для контроля и оценки распространения заболеваний из группы новых инфекций на этапах их возникновения, пика заболеваемости и периода стабилизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Кондратьев М.А. Методы прогнозирования и модели распространения заболеваний // Компьютерные исследования и моделирование. - Т.5. - № 5. – 2013. С. 863–882.

2. Коробецкая А.А. Прогнозирование заболеваемости населения Российской Федерации на основе моделирования временных рядов // Вестник Самарского муниципального института управления. - №4 (15). – 2010. С. 31–37.

3. Десятков Б.М., Бородулин А.И., Котлярова С.С., Лаптева Н.А., Марченко М.Ю., Шабанов А.Н. Математическое моделирование эпидемических процессов и оценка их статистических характеристик // Химическая и биологическая безопасность. - № 1(3). – С. 15-20.

4. Лопатин А.А., Сафронов В.А., Раздорский А.С., Куклев Е.В. Современное состояние проблемы математического моделирования и прогнозирования эпидемического процесса // Проблемы особо опасных инфекций. - №105. – 2010. С. 28–30.

5. Головинова В.Ю., Минаев Ю.Л., Котенко П.К. и др. Прогнозирование заболеваемости в коллективе с использованием нейросетевой модели // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - №1(6). – Т.12. – 2010. С. 1595-1596.

6. РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК. ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ И ЭЛЕКТРОХИМИИ им. А.Н. Фрумкина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.physche.ac.ru> (дата обращения: 06.11.2024г.).

7. Загоруйченко А.А., Карпова О.Б. Актуальные подходы к прогнозированию и моделированию заболеваемости населения в России // Санитарный врач. - №8. – 2022. С. 596-606.
8. Гаврилов Д.В., Абрамов Р.В., Кирилкина А.В., Ившин А.А., Новицкий Э.Р. Модель прогнозирования пандемии COVID-19 на основе машинного обучения в отдельных регионах Российской Федерации // Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакрэпидемиология. - № 14(3). – 2021. С. 342-356.
9. Захаров В.В., Балыкина Ю.Е. Прогнозирование динамики эпидемии коронавируса (COVID-19) на основе метода прецедентов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. – Т.16. - №3. – 2020. С.249-259.

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЛАВ В ЗАДАЧЕ ВИРТУАЛЬНОГО ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ПО АСУТП

Фомин А.В.

ООО «Джэй Эс Эй Групп», Москва, Россия

Verner444@yandex.ru

Fomin A.V.

J.S.A. Group LLC, Moscow, Russia

***Аннотация.** Целью данной работы является реализация и интегрирование цифрового двойника печи отжига металла в единую систему разработки, проектирования и отладки программного обеспечения для АСУТП печи отжига.*

Ключевые слова: цифровой двойник; виртуальный ввод в эксплуатацию; печи отжига.

***Abstract.** The purpose of this work is to implement and integrate the digital twin of the metal annealing furnace into a single system for the development, design and debugging of software for the automated control system of the annealing furnace.*

Keywords: digital double; virtual commissioning; annealing furnaces.

Введение

Цифровой двойник (Digital Twin (DT)) – одно из многообещающих цифровых решений, разрабатываемых в настоящее время для поддержки цифровой трансформации предприятий и принятия решений во многих отраслях. Промышленные предприятия все больше осознают значение цифровой трансформации, но при внедрении цифровых стратегий предприятия сталкиваются с противоречивыми решениями, не позволяющими одновременно повысить эффективность производства и уменьшить риски на заводе. В связи с этим возникают трудности определения наиболее эффективных технологий для предприятий.

Виртуальный ввод в эксплуатацию (далее VC – Virtual Commissioning) и цифровые двойники (далее DT – Digital Twin) являются двумя наиболее часто используемыми терминами в контексте производственных инноваций, технологии которых обеспечивают моделирование и тестирование новых процессов в безрисковой среде. Любое крупное производственное оборудование связано с процессом ввода в эксплуатацию, в ходе которого системы управления связаны с мехатронными системами. На этапе ввода в эксплуатацию сложные последовательности сигналов должны проходить логически и строго по графику.

Затем неизбежно требуется время для решения вопросов, возникающих в связи с обеспечением связи между этими системами, что приводит к задержкам в осуществлении проектов. Так происходит виртуальный ввод в эксплуатацию. Это позволяет полностью имитировать логику управления и сигналы, которые в конечном итоге позволят завершить работу системы управления.

Хотя ввод в эксплуатацию является важной частью процесса, обычно он происходит довольно поздно в процессе разработки. И хотя на него приходится всего 25 % времени разработки, именно на этом этапе происходит большинство задержек [1]. На самом деле предсказано, что до 70 % задержек являются следствием ошибок в управляющем программном обеспечении [2]. Таким образом, цель использования VC – обеспечить раннюю проверку машинного кода. Это значительно снижает риск развертывания программы, содержащей ошибки. Наиболее трудоемкий аспект этапов ввода в эксплуатацию и ввода в эксплуатацию включает внедрение программного обеспечения или перепроектирование программного обеспечения. Таким образом, реализация VC также обеспечивает более высокое качество программного обеспечения и сокращает общее время ввода в эксплуатацию. [3-4]

В данной статье, в качестве примера решения подобной задачи, рассматривается задача разработки и отладки программного обеспечения для АСУТП печи отжига металла. Создание всеобъемлющего цифрового двойника, описывающие физические и химические процессы представляется крайне сложным [5-8]. Однако, для решения задач отладки программного обеспечения разработка двойника возможна ввиду не столь значительных временных затрат и математической сложности. В качестве средства моделирования и платформы для разработки цифрового двойника был выбран пакет Matlab Simulink. Выбор обусловлен не только наличием огромного количества инструментов моделирования в Simulink, но и возможность штатными средствами Matlab выполнить соединение с OPC серверами. Общий комплекс технических и программных средств для отладки контроллерного ПО имеет следующий вид.

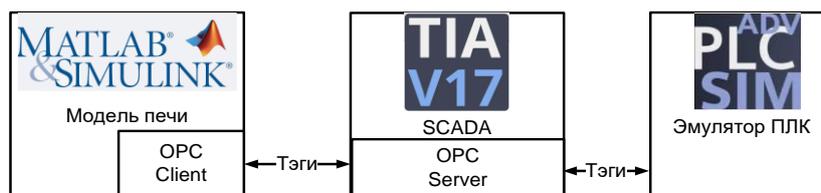


Рис. 1 – Комплекс программных средств

Matlab подключается к OPC серверу, создаваемому SCADA WinCC при старте проекта и ведет чтение и запись данных в теги. SCADA связанная с ПЛК обменивается состоянием тэгов с ним, получая от контроллера управляющие воздействия и передавая их в Matlab. Matlab в данной схеме выступает как средство моделирования технологического оборудования – исполнительных механизмов, самого объекта управления и имитация различных датчиков, состояние которых он посредством WinCC передает в контроллер. Данная схема позволяет организовать имитацию работы всего технологического оборудования в режиме online. Общая схема управления, реализованная в Matlab Simulink приведена на рисунке 2.

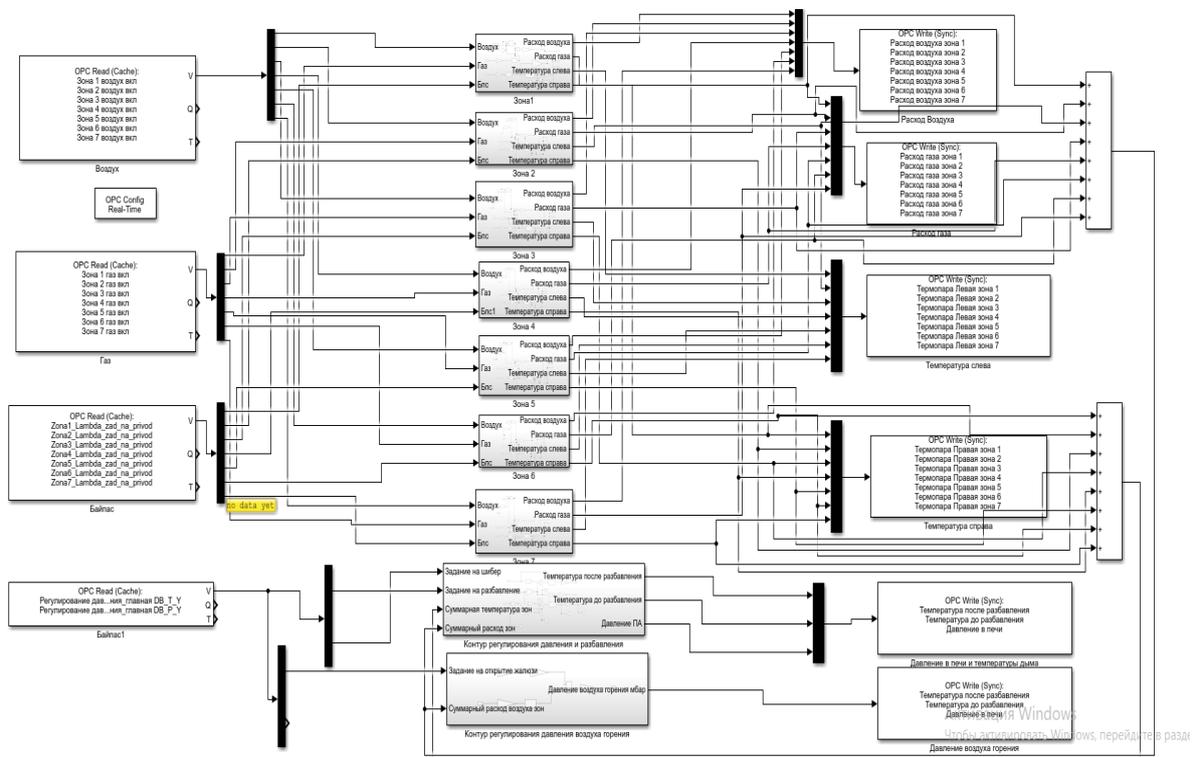


Рис. 2 – Общая схема управления Matlab Simulink

Программное обеспечение управляющего программируемого контроллера загружалось в эмулятор контроллера, выполнено соединение в единую систему. Интегрированный в данную классическую схему цифровой двойник, выполненный в Matlab Simulink, позволил производить отладку как ПО контроллера, так и визуализации. Классическая схема отладки подразумевает ручную имитацию открытия/закрытия каждого исполнительного механизма, ручное изменение аналоговых сигналов, что в виду сложности печи как объекта управления, требует труда нескольких программистов. Данная схема значительно удлинит и усложнит процесс отладки, а отладку одновременной работы несколько контуров делает невозможной. Интегрированный в данную классическую схему

цифровой двойник, выполненный в Matlab Simulink, позволил производить отладку как ПО контроллера, так и визуализации, в режиме онлайн с имитацией поведения объекта управления, близкой к реальной. В рамках проекта по модернизации АСУТП печи отжига металла, была разработана и реализована SCADA система, показанная на рисунке 3.

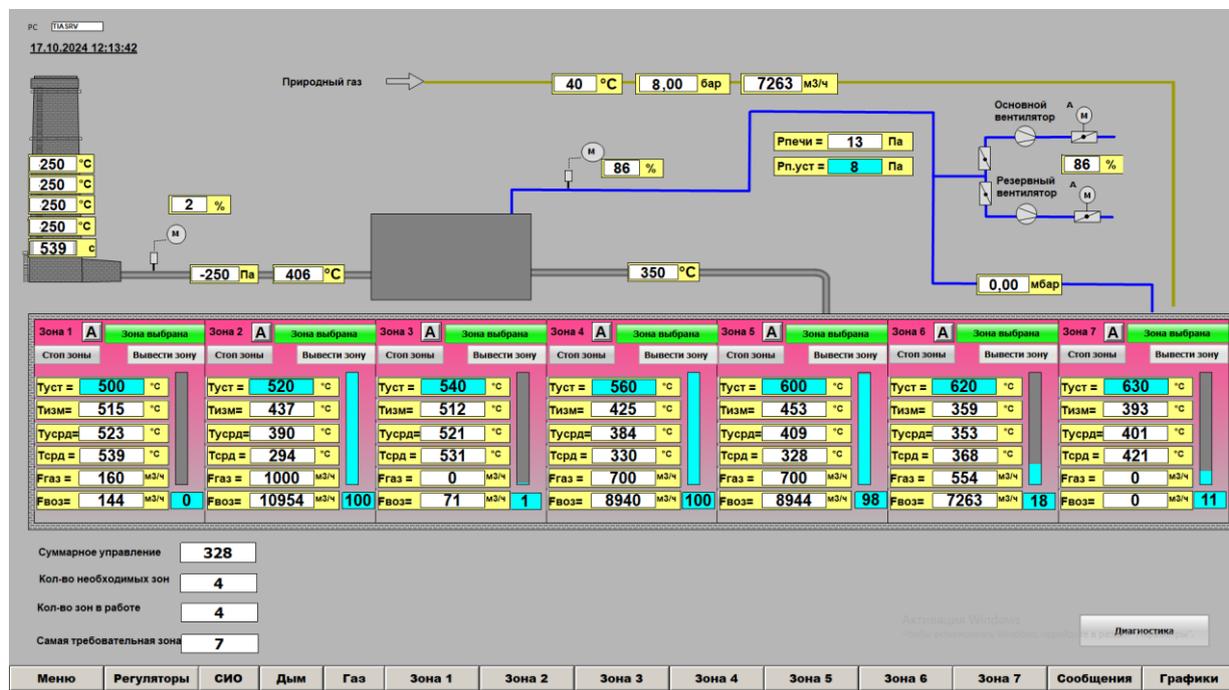


Рис. 3 – SCADA с имитацией работы печи через эмуляцию ПЛК и цифровой двойник

Заключение

В результате разработки цифрового дневника основного оборудования печи отжига и интегрирования его в единую систему разработки TIA PORTAL удалось выполнить первичное тестирование программного обеспечения для газоопасного объекта на примере печи отжига.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Hoffmann, Peter et al. Virtual Commissioning Of Manufacturing Systems A Review And New Approaches For Simplification. In: ECMS. Kuala Lumpur, Malaysia, – pp. 175–181.
2. Reinhart, Gunther and Georg Wunsch. Economic application of virtual commissioning to mechatronic production systems. In: Production Engineering 1.4, – pp. 371–379.
3. Auinger, F., Vorderwinkler, M. and Buchtela, G. Interface driven domain-independent modeling architecture for 'soft-commissioning' and 'reality in the loop', Proceedings
4. Радишевская, Т. А. Цифровые двойники и виртуальный ввод в эксплуатацию в контексте цифровой трансформации производства / Т. А. Радишевская, В. А. Радишевский // Современные средства связи. – 2022. – Т. 1, № 1. – С. 188-190. – EDN KZUSHM.

5. Бирюков, А. Б. Концепция комплексного цифрового двойника печи для тепловой обработки металла / А. Б. Бирюков // Черная металлургия. Бюллетень научной, технической и экономической информации. – 2023. – Т. 79, № 8. – С. 649-656. – DOI 10.32339/0135-5910-2023-8-649-656. – EDN LXZQCK.

6. Фомин, А. В. Разработка метода непрерывно-дискретного инверсного управления контуром регулирования давления в пространстве нагревательной печи / А. В. Фомин // Металлург. – 2023. – № 11. – С. 118-123. – DOI 10.52351/00

7. Жуков, П. И. Разработка концепции надсистемы энергоэффективного управления нагревательной печью / П. И. Жуков, А. В. Фомин // Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2022 : труды Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Новокузнецк, 15–16 декабря 2022 года. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2022. – С. 293-299. – EDN GGEYUS.

8. Фомин, А. В. Математическая модель зависимости расхода газа в зонах печи от производительности прокатного стана / А. В. Фомин // Металлург. – 2023. – № 2. – С. 111-116. – DOI 10.52351/00260827_2023_02_111. – EDN VWRXSZ.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА

Халапян С.Ю., Анпилов А.О.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
khalapyan@yandex.ru, alexandr743274@yandex.ru

***Аннотация.** Исследование посвящено вопросу совершенствования системы управления обезвоживанием железорудного концентрата с целью повышения производительности технологического процесса. В системе управления процессом обезвоживания предлагается использовать интеллектуальный многопараметрический экстремальный регулятор.*

Ключевые слова: обезвоживание; железорудный концентрат; дисковый вакуум-фильтр; автоматическая система управления; экстремальный регулятор; гибридный интеллектуальный блок управления экстремальным регулятором.

INTELLIGENT EXTREME CONTROL OF THE IRON ORE CONCENTRATE DEHYDRATION PROCESS

Khalapyan S.Yu., Anpilov A.O.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** This work is devoted to the issue of improving the control system for the dehydration of iron ore concentrate in order to increase the productivity of the technological process. It is proposed to use an intelligent multiparametric extreme controller in the dehydration process control system.*

Keywords: dehydration; iron ore concentrate; disk vacuum filter; automatic control system; extreme regulator; hybrid intelligent extreme regulator control unit.

Дисковые вакуум-фильтры широко применяются на горно-металлургических предприятиях для обезвоживания железорудного концентрата. Процесс обезвоживания

является одним из факторов, влияющих на общую эффективность предприятия, ценность, сорт конечного продукта и его себестоимость [1].

Цель данного исследования – увеличение производительности дискового вакуум-фильтра. При этом влажность выходного продукта процесса обезвоживания должна поддерживаться на требуемом уровне.

В ходе анализа было установлено, что производительность процесса обезвоживания на предприятиях снижена. Также наблюдаются скачки влажности выходного продукта. Это вызвано низким качеством ручного управления технологическим процессом.

В работе [2] на основе специализированной литературы [3], [4] была получена оригинальная схема автоматизированной системы управления (АСУ) процессом обезвоживания с индивидуальным регулированием технологических параметров каждого вакуум-фильтра, позволяющая учесть индивидуальные характеристики агрегатов, в частности загрязнённость фильтроткани. Данная АСУ состоит из: контура регулирования влажности осадка; контура экстремального регулирования производительности дискового вакуум-фильтра; контура регулирования положения задвижки на трубопроводе подачи разрежения в зону набора осадка; контура регулирования плотности пульпы в ванне вакуум-фильтра; контура регулирования уровня пульпы в ванне вакуум-фильтра; контура регулирования уровня пульпы в пульподелителе.

В контуре регулирования производительности был использован шаговый экстремальный регулятор, работающий на основе метода покоординатного подъёма, а также гибридный интеллектуальный блок управления экстремальным регулятором (ГИБУЭР) [5], необходимый для повышения качества его работы.

Данный интеллектуальный блок определяет момент, когда экстремальный регулятор найдёт экстремум производительности, и отключает его. Затем рассчитывает момент включения экстремального регулятора, активный параметр (плотность пульпы или положение задвижки) в этот момент и направление его шага (увеличение или уменьшение задания).

Входящий в состав ГИБУЭР блок оценки целесообразности коррекции заданий плотности пульпы ($\rho_{зад}$) реализован с помощью искусственной нейронной сети, а блок оценки целесообразности коррекции задания положения задвижки ($h_{зад}$) реализован с помощью нечёткой нейронной сети.

Результаты экспериментов показывают, что экстремальный регулятор с ГИБУЭР повторяет работу обычного шагового регулятора, но при этом делает в среднем в 7 раз меньше переключений заданий.

Функциональная схема системы управления процессом обезвоживания с ГИБУЭР представлена на рисунке 1.

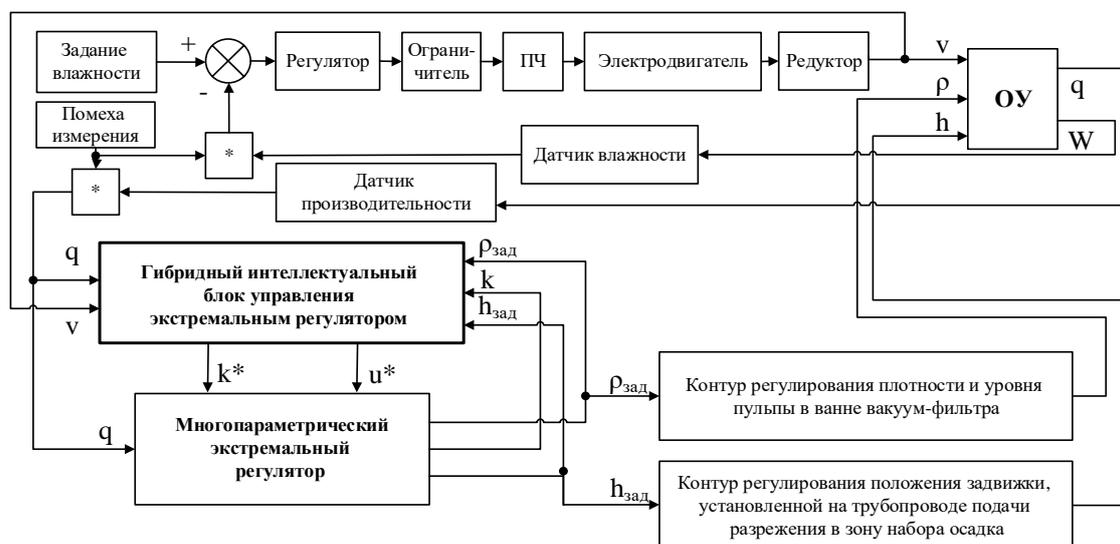


Рис. 1 – Функциональная схема разработанной системы управления с ГИБУЭР

Для повышения производительности процесса обезвоживания железорудного концентрата предлагается в рассмотренной выше системе управления вместо гибридного интеллектуального блока управления экстремальным регулятором, а также экстремального регулятора установить интеллектуальный многопараметрический экстремальный регулятор (ИМЭР). Он включит в себя преимущества экстремального регулятора и ГИБУЭР, но при этом устранил недостатки его работы. Функциональная схема системы управления процессом обезвоживания с ИМЭР представлена на рисунке 2.

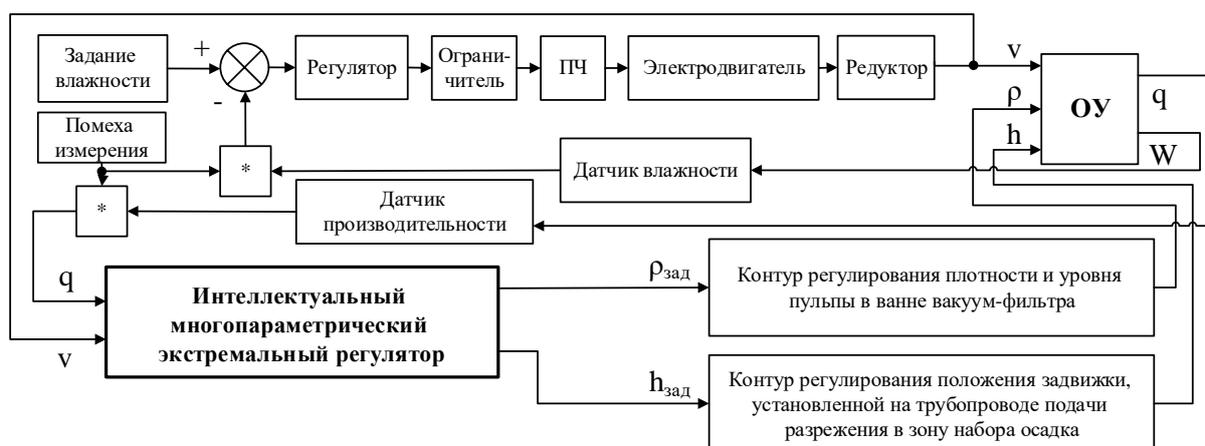


Рис. 2 – Функциональная схема разработанной системы управления с ИМЭР

При использовании ИМЭР в контуре регулирования производительности фильтра данный параметр будет поддерживаться на максимальном значении путём его экстремального регулирования в условиях изменяющихся крупности концентрата в пульпе и

загрязнённости фильтроткани. Интеллектуальным регулятором будут вычисляться оптимальные задания контуров регулирования плотности пульпы и положения задвижки.

ИМЭР будет объединять в себе знания оператора, управляющего процессом обезвоживания и принципы работы классического экстремального регулятора. Это будет реализовано за счёт использования методов искусственного интеллекта: нейронных сетей, нечёткой логики. В ходе дальнейших исследований будет сформирована оптимальная структура разрабатываемого интеллектуального регулятора.

Также, как ГИБУЭР, разрабатываемый интеллектуальный многопараметрический экстремальный регулятор будет иметь малое число переключений выходных параметров (заданий плотности пульпы и положения задвижки), что снизит пробег исполнительных механизмов автоматизированной системы управления технологическим процессом.

Главным отличием ИМЭР от ГИБУЭР будет возможность разрабатываемого интеллектуального регулятора корректировать величину шага коррекции заданий плотности пульпы и положения задвижки при изменении возмущающих воздействий на систему управления. Это даст возможность системе быстрее находить экстремум (максимум) производительности фильтров путём расчёта оптимальных заданий для внутренних контуров.

Использование разработанной системы управления процессом обезвоживания железорудного концентрата с ИМЭР возможно на вакуум-фильтрах схожего принципа действия с дисковыми. Использование ИМЭР в данной системе позволит повысить производительность передела и снизить удельные затраты энергоресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Воловиков А.Ю. Экспериментальная установка для исследования процесса обезвоживания железорудного концентрата с использованием вакуумных дисковых фильтров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. №8. С. 300-303.
2. S. Halapyan, A. Anpilov The Concept Of Individual Regulation Of Vacuum Filters Technological Parameters In Iron Ore Concentrate Dehydration Process // 2023 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). Conference Proceeding., 2023. P. 659–663.
3. Гольберт, Ю.С. Обезвоживание концентратов черных металлов / Ю.С. Гольберт, А.А. Гонтаренко. – М. : Недра, 1986. – 182 с.
4. Гольберт, Ю.С. Процессы и оборудования для обезвоживания руд / Ю.С. Гольберт, А.А. Гонтаренко, В.Т. Баришполец, Б.В. Гищук. – М.: Недра, 1977. – 168 с.

5. Халапян С.Ю., Анпилов А.О. О разработке гибридного интеллектуального блока управления шаговым экстремальным регулятором // Инженерный вестник Дона. 2023. № 10.

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯТОРОВ ДРОБНОГО ПОРЯДКА

Халапян С.Ю., Бородин Р.С.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
khalapyan@yandex.ru, ros.bor@mail.ru

Аннотация. Рассматривается задача управления роботом параллельной структуры. Проведено сравнение точности классических регуляторов и их дробно-степенных аналогов на различных траекториях.

Ключевые слова: механизм параллельной кинематики; управление параллельным роботом; дифференциал; дробно-степенной регулятор.

PARALLEL ROBOT CONTROL BASED ON FRACTIONAL ORDER REGULATORS

Khalapyan S.Y., Borodin R.S.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The paper considers the problem of parallel structure robot control. The accuracy of classical regulators and their fractional analogues on different trajectories is compared.

Keywords: parallel structure mechanism; parallel robot control; differintegral; fractional order controller.

Современные роботы-манипуляторы обладают широким диапазоном функциональных возможностей, которые объясняют их применение во многих отраслях. При этом если к механизму предъявляются такие требования, как жесткость конструкции, высокая грузоподъемность и точность, то предпочтение отдается механизмам параллельной структуры.

В отличие от последовательных, параллельные роботы имеют несколько кинематических цепей, которые связывают его рабочий орган (подвижную платформу или концевой эффектор) с неподвижным основанием. Основным недостатком данных механизмов является сложность организации системы управления.

Для управления механизмом параллельной структуры требуемая траектория движения рабочего органа путем решения так называемой обратной задачи кинематического анализа пересчитывается в синхронизированную по времени последовательность состояний приводных шарниров каждой из кинематических цепей. Рассчитанные значения используются в качестве заданий для соответствующих независимых контуров регулирования.

В случае, если в качестве основы робота используется планарный механизм типа 3-RPR (рис. 1), приводными в каждой из трех кинематических цепей являются призматические шарниры, поэтому в системе управления применяются три одинаковых контура регулирования длины штанг (рис. 2). При этом поскольку от величины управляющего воздействия пропорционально зависит скорость изменения длины штанги, объект управления является астатическим, и в контурах регулирования длины традиционно используются ПД-регуляторы.

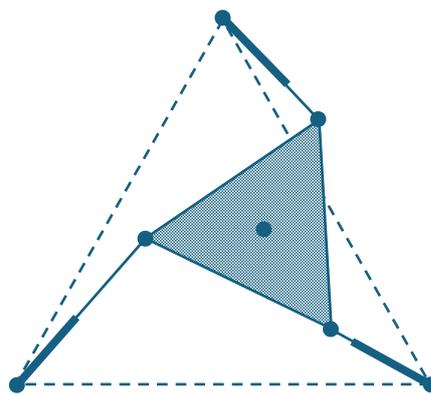


Рис. 1 – Топология планарного механизма

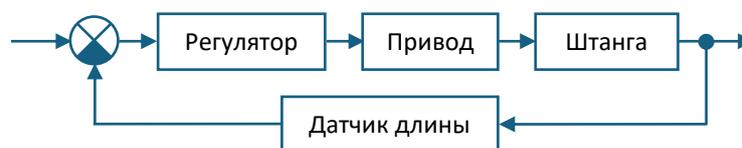


Рис. 2 – Схема контура регулирования длины штанги

В работе [1] описан опыт успешного применения для управления параллельным роботом несколько иной структуры так называемого дробного-степенного ПИД-регулятора.

Дробно-степенные регуляторы используют дробные интегралы и дифференциалы в соответствующих каналах регулятора, что позволяет увеличить число настраиваемых параметров и, соответственно, расширить диапазон возможностей регуляторов [2] и системы управления в целом. Передаточная функция дробно-степенного ПИД-регулятора имеет вид:

$$W(s) = K_p + \frac{K_i}{s^\lambda} + K_d s^\mu \quad (1)$$

Переменные λ и μ находятся в диапазоне $[0; 1]$. Их значения определяют вид регулятора:

1. при $\lambda = 0, \mu = 0$ регулятор является пропорциональным;
2. при $\lambda = 1, \mu = 0$ он представляет собой ПИ-регулятор;
3. при $\lambda = 0, \mu = 1$ – ПД-регулятор;
4. при $\lambda = 1, \mu = 1$ – ПИД-регулятор;
5. при дробных значениях λ и μ – регулятор промежуточного типа.

Целью проведенного исследования являлось сравнение точности регулирования, обеспечиваемого классическими регуляторами (кроме ПД были рассмотрены ПИД и ПДД-регуляторы) с их дробно-степенными аналогами.

Эксперименты проводились в Matlab. В Simulink была построена модель робота и системы управления на основе регулятора переменной структуры. Были предложены две различные по сложности траектории движения центра подвижной платформы (рис. 3). Оптимизация параметров регуляторов проводилась методом поиска по шаблону (pattern search) отдельно для каждой траектории по критерию минимума интеграла от квадрата динамической ошибки отслеживания по осям x и y (2):

$$f(t) = \int_0^t e_x(t)^2 dt + \int_0^t e_y(t)^2 dt \quad (2)$$

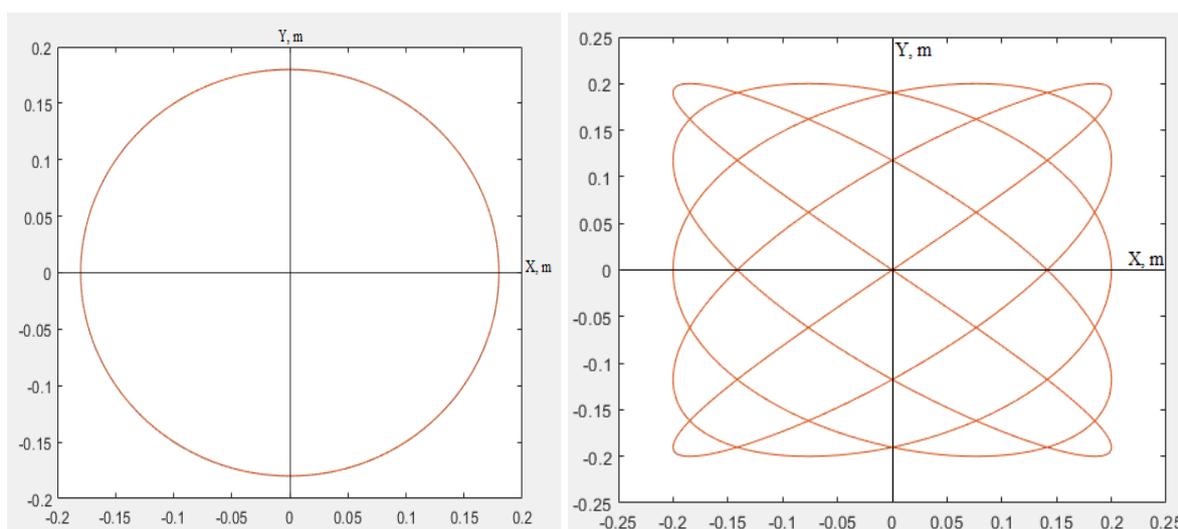


Рис. 3 – Траектории движения выходного звена механизма

Эксперименты показали, что для обеих траекторий точность дробных регуляторов оказалась существенно выше точности их классических аналогов. Наименьшую интегральную квадратичную ошибку отслеживания траекторий продемонстрировал дробно-

степенной ПИД-регулятор. Таким образом, использование дробно-степенных регуляторов в системах управления роботами параллельной кинематики следует признать перспективным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Al-Mayyahi, A., Aldair, A.A. & Chatwin, C. Control of a 3-RRR Planar Parallel Robot Using Fractional Order PID Controller. *Int. J. Autom. Comput.* 17, 822–836 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11633-020-1249-9>

2. Жмудь, В.А. Дробно-степенные ПИД-регуляторы и пути их упрощения с повышением эффективности управления / В.А. Жмудь, А.Н. Загорин — *Автоматика и программная инженерия*. 2013, №1(3), С. 30-36.

**О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ
РАСПОЗНАВАНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ОПЕРАТИВНОЙ
АВТОНОМНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Халапян С.Ю., Меркулов В.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
khalapyan@yandex.ru, vova.merkulov.02@mail.ru*

***Аннотация.** В работе рассмотрены перспективы применения технологий искусственного интеллекта в системах управления беспилотными транспортными средствами для снижения уровня их потребности в операторском управлении, повышения оперативной автономности при решении задач преодоления препятствий, обнаруженных с помощью системы видеонавигации.*

Ключевые слова: беспилотное транспортное средство; оперативная автономность; искусственный интеллект; распознавание образов; видеонавигация.

**ON THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS FOR
RECOGNIZING OBSTACLES IN ORDER TO INCREASE THE OPERATIONAL
AUTONOMY OF UNMANNED VEHICLES**

Khalapyan S.Yu. Merkulov V.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National University of Science and Technology MISIS", Russia, Stary Oskol

***Abstract.** The paper considers the prospects of using artificial intelligence technologies in unmanned vehicle control systems to reduce their need for operator control, increase operational autonomy in solving problems of overcoming obstacles detected using video navigation system.*

Keywords: unmanned vehicle; operational autonomy; artificial intelligence; pattern recognition; video navigation.

В настоящее время беспилотные транспортные средства (БТС) всё активнее применяются для решения различных задач в таких отраслях, как сельское хозяйство,

горнодобывающая промышленность, геодезия, топография, нефтегазовая промышленность и многие другие.

Одним из основных направлений развития БТС является снижение их зависимости от человека и повышение оперативной автономности. Важнейшей задачей, для решения которой в настоящее время необходимо участие человека, является управление БТС, своевременное обнаружение и преодоление препятствий.

Использование технологий искусственного интеллекта (в частности, нейронных сетей) в системах управления БТС для распознавания препятствий и автоматической коррекции траектории их движения может считаться одним из возможных способов повышения автономности БТС.

В таких условиях разработка интеллектуальных систем управления представляет собой актуальную задачу, от решения которой зависит эффективность использования беспилотных транспортных средств.

Интерпретируя данные о собственном местоположении, распознавая препятствия и применяя сохраненный алгоритм операторского управления [1], БТС может «самостоятельно» формировать и корректировать траекторию своего движения.

Наиболее распространенными методами определения местоположения БТС в пространстве в настоящее время являются так называемые глобальные навигационные спутниковые системы. Однако, в большинстве случаев использования подобных систем недостаточно, а в ряде случаев по тем или иным причинам невозможно.

Одним из наиболее перспективных типов систем навигации, которые могут применяться в дополнение к глобальным навигационным спутниковым системам, являются системы навигации по визуальным признакам – системы видеонавигации [2]. Их работа может быть основана на применении различных алгоритмов.

Для видеонавигации БТС обычно применяются системы визуальной одометрии [3]. Такие системы основаны на сопоставлении последовательности кадров с бортовых камер. Каждый последующий кадр сравнивается с предыдущим и на основании полученной разницы определяется направление движения БТС, пройденное им расстояние, а также расстояние до наблюдаемого объекта.

Изображения, полученные с бортовых камер, могут быть использованы для распознавания типа препятствий. Поскольку такое распознавание относится к задачам многоклассовой классификации, оно может с успехом выполняться с помощью нейронной сети, для которой предполагается использовать метод машинного обучения «с учителем». При этом в качестве обучающей выборки (датасета) будет использоваться набор изображений примеров препятствий.

На основе предоставленной информации нейронная сеть получит способность сама находить и фиксировать признаки, которые позволяют ей отличить, к примеру, дерево от кирпичной стены здания.

Классификация препятствий, выполненная нейронной сетью, позволит в зависимости от типа препятствия «включать» соответствующие алгоритмы операторского управления, сохраненные в памяти.

В результате в зависимости от типа препятствия, его удаленности и характера относительного движения БТС будет самостоятельно принимать решения на проведение тех или иных мероприятий в отношении обнаруженного объекта – маневр его облета, например, слева, справа, сверху или снизу (если БТС является воздушным судном) либо остановка для пропуска движущегося объекта.

Практическая реализация предложенной в настоящей работе концепции построения интеллектуальной системы управления БТС, предназначенной для повышения его оперативной автономности, позволит существенно поднять производительность труда оператора, который сможет управлять целыми формированиями (роями) беспилотников, просто отправляя им задания в самом обобщенном виде, уменьшить влияние человеческого фактора и, следовательно, увеличить эффективность использования БТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Ярмуратий Д.Ю. Сохранение знаний оперативного персонала технологического агрегата / Д.Ю. Ярмуратий, Ю.И. Еременко, С.Ю. Халапян // Современное общество, образование и наука: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Часть 5. – Тамбов, изд.: ООО "Консалтинговая компания Юком", 2014. С. 161-162.
2. Коновалов К.Д. Алгоритм планирования маршрута БПЛА в условиях недостатка визуальных ориентиров // Системы анализа и обработки данных. 2024. №2. Т. 92. С. 37-54.
3. Khachatryan T.B. A review of visual odometry for UAV autonomous navigation // Proceedings of National Polytechnic University of Armenia “Information technologies, Electronics, Radio engineering”. 2023. №1. P. 9-17.

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА МОДЕЛИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЕСА СПОРТСМЕНОВ

Хамзаева Н.А., Ковтун Н.И.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
hamzaevanarmina@gmail.com, kovtun-n-i@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается задача автоматизации расчета для модели регулирования веса спортсменов, участвующих в соревнованиях с регламентированным правилами весовым режимом.

Ключевые слова: алгоритм расчета оптимальной калорийности рациона спортсмена; формула Харриса-Бенедикта; формула Миффлина-Сан Жеора.

AUTOMATION OF CALCULATION OF A MODEL OF WEIGHT REGULATION FOR ATHLETES

Khamzaeva N.A., Kovtun N.I.

Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

Abstract. The article discusses the problem of automating the calculation for the weight regulation model of athletes participating in competitions with a weight regime regulated by the rules.

Keywords: algorithm for calculating the optimal caloric intake of an athlete's diet; Harris-Benedict Equation; Mifflin-St Jeor Equation.

Взвешивание спортсменов перед соревнованиями – важная процедура, которая проводится для обеспечения справедливости и безопасности в различных видах спорта, где результаты зависят от весовых категорий: бокс, дзюдо, самбо, гимнастика, лёгкая атлетика и другие. Контроль веса для спортсменов является важным аспектом подготовки к соревнованиям и поддержания оптимальной физической формы. Правильное управление весом может улучшить результаты, предотвратить травмы и обеспечить общее здоровье.

Регулирование веса требует тщательного планирования и контроля для обеспечения оптимального состояния спортсмена как во время тренировок, так и на соревнованиях.

Каждый спортсмен имеет свои физиологические и психологические особенности, поэтому план по регулированию веса должен быть персонализирован. Важно учитывать возраст, пол, тип телосложения, метаболизм и текущее состояние здоровья. Цели должны быть реалистичными и достижимыми, чтобы избежать негативных последствий для здоровья: резкое изменение веса может привести к нарушениям обмена веществ, снижению работоспособности и ухудшению общего состояния здоровья.

Правильное питание играет ключевую роль в регулировании веса. Углеводы обеспечивают энергию для тренировок, белки помогают в восстановлении мышц, а жиры необходимы для нормального функционирования организма.

Регулярное взвешивание и измерение других показателей (например, процент жира в теле) помогают оценить прогресс и внести коррективы в план. Традиционно в спортивных школах тренеры ведут журналы, в которых регулярно записывают результаты взвешиваний, на основании которых спортсменам выдаются рекомендации по питанию и тренировкам для достижения определенной цели по весу и определения, в какой весовой категории спортсмену предстоит выступить на соревнованиях. Ведение таких журналов трудозатратно, может привести к потере данных, при этом возникают сложности в отслеживании динамики веса. Использование современных технологий может облегчить этот процесс.

Информационная система для автоматизации расчета модели регулирования веса должна предоставлять возможность выполнения следующих функций:

- сбор данных (возраст, пол, рост, текущий вес, уровень физической активности);
- хранение диетических данных (калорийность потребляемых продуктов, макронутриенты (белки, жиры, углеводы), микроэлементы), интеграция с диетическими базами данных;
- расчет суточной нормы калорий;
- выдача рекомендаций по питанию;
- ведение дневника калорийности.

Рассмотрим бизнес-процесс учета физического развития спортсмена (рис. 1) в нотации EPC [2]. Спортсмен фиксирует свои антропометрические данные, просматривает нормативы весовых категорий по виду спорта и, опираясь на них, принимает решение – стремиться к снижению, набору веса или же поддерживать его на текущем уровне. В результате расчета оптимальной калорийности рациона под поставленную цель спортсмен получает суточную норму калорийности, а также рекомендации по питанию и тренировкам. Если спортсмен не достигает поставленной цели в течение некоторого времени, план питания и тренировок корректируется и, при необходимости, спортсмен отправляется на

дополнительное медицинское обследование на предмет выявления скрытых нарушений в здоровье.

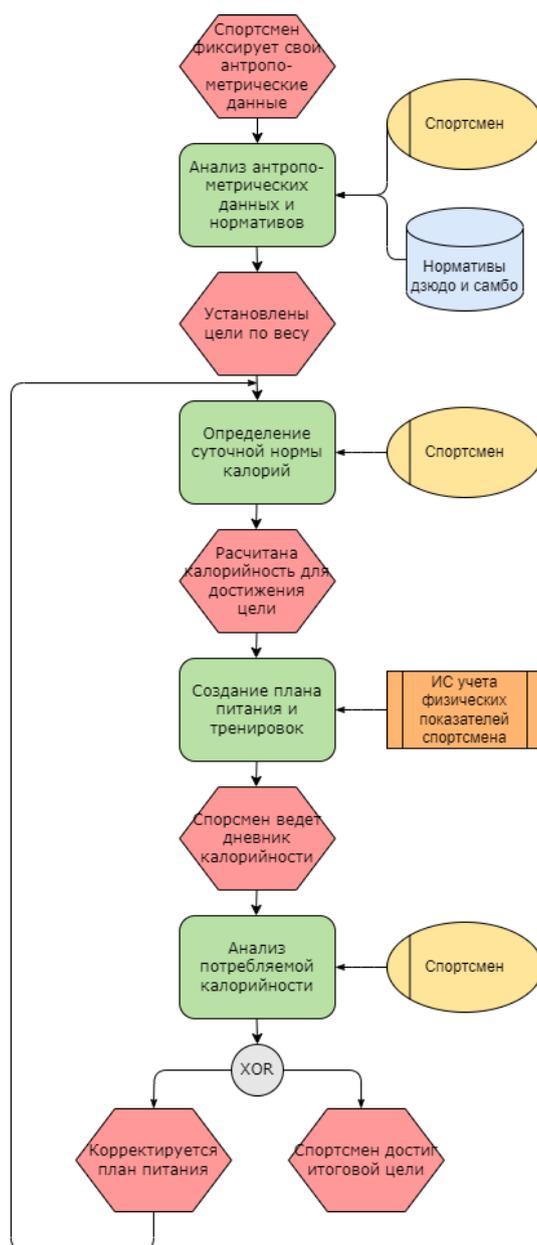


Рис. 1 – Бизнес-процесс учета физического развития спортсмена в нотации EPC

Для расчета базального обмена веществ (BMR) – количества калорий, которое организм тратит в состоянии покоя, на практике используют формулу (1), которая учитывает различные факторы, такие как возраст (В), измеряемый в годах; пол; вес (Р), измеряемый в килограммах; рост (L), измеряемый в сантиметрах; уровень физической активности (PAL – Physical Activity Level) и цель расчета (похудение, поддержание, набор веса)) [2].

$$BMR = K1 + K2 * P + K3 * L - K4 * V \quad (1)$$

Формула Харриса-Бенедикта выведена американскими физиологом Фрэнсисом Гано Бенедиктом и ботаником Джеймсом Артуром Харрисом в 1919 году, но до сих пор остается

актуальной. Доверительный интервал с уровнем доверия 95% составляет $\pm 213,0$ ккал/сут для мужчин и $\pm 201,0$ ккал/сут для женщин. Формула Миффлина-Сан Жеора открыта в 2005 году и считается оптимальным методом составления рациона человека в возрасте от 13 до 80 лет. Формулы при расчетах используют различные коэффициенты, представленные в таблице 1.

Таблица 5 – Коэффициенты формулы для расчета оптимальной калорийности рациона

Коэффициент	Формула Харриса-Бенедикта		Формула Миффлина-Сан Жеора	
	Женщины	Мужчины	Женщины	Мужчины
K1	655,1	66,5	- 161	5
K2	9,563	13,75	10	10
K3	1,85	5,003	6,25	6,25
K4	4,676	6,775	5	5

Чтобы получить общую суточную потребность в калориях (TDEE, Total Daily Energy Expenditure) для поддержания текущего веса (2), нужно умножить рассчитанное значение BMR на коэффициент активности (3), который разделяют по пяти степеням физических нагрузок в сутки.

$$TDEE = BMR * PAL \quad (2)$$

$$PAL = \begin{cases} 1,2, \text{ если минимальный (сидячая работа, отсутствие физических нагрузок);} \\ 1,37, \text{ если низкий (тренировки не менее 20 мин 1 – 3 раза в неделю);} \\ 1,55, \text{ если умеренный (тренировки 30 – 60 мин 3 – 4 раза в неделю);} \\ 1,7, \text{ если высокий (тренировки 30 – 60 мин 5 – 7 раза в неделю);} \\ 1,9, \text{ если экстремальный (интенсивные тренировки в день 6 – 7 раз в неделю).} \end{cases} \quad (3)$$

Выбор конкретной формулы расчета зависит от индивидуальных особенностей и целей. Формула Миффлина-Сан Жеора чаще используется в современной практике из-за своей более точной и персонифицированной природы, поэтому будем использовать ее при разработке информационной системы учета физических характеристик спортсмена.

В зависимости от цели расчета (похудение, поддержание или набор веса) общая суточная потребность в калориях умножается на соответствующий коэффициент, в результате чего создается безопасный для здоровья дефицит или профицит калорий.

Алгоритм расчета оптимальной калорийности рациона и макет формы для ввода данных в системе представлены на рис. 2.

Внедрение автоматизированной системы учета физического развития спортсмена значительно повышает эффективность тренировочного процесса. Такая система облегчит работу тренерского состава. Кроме того, регулярный мониторинг позволяет выявлять

изменения в состоянии здоровья спортсменов и корректировать подход к формированию калорийности рациона в реальном времени, что является залогом успешных достижений.

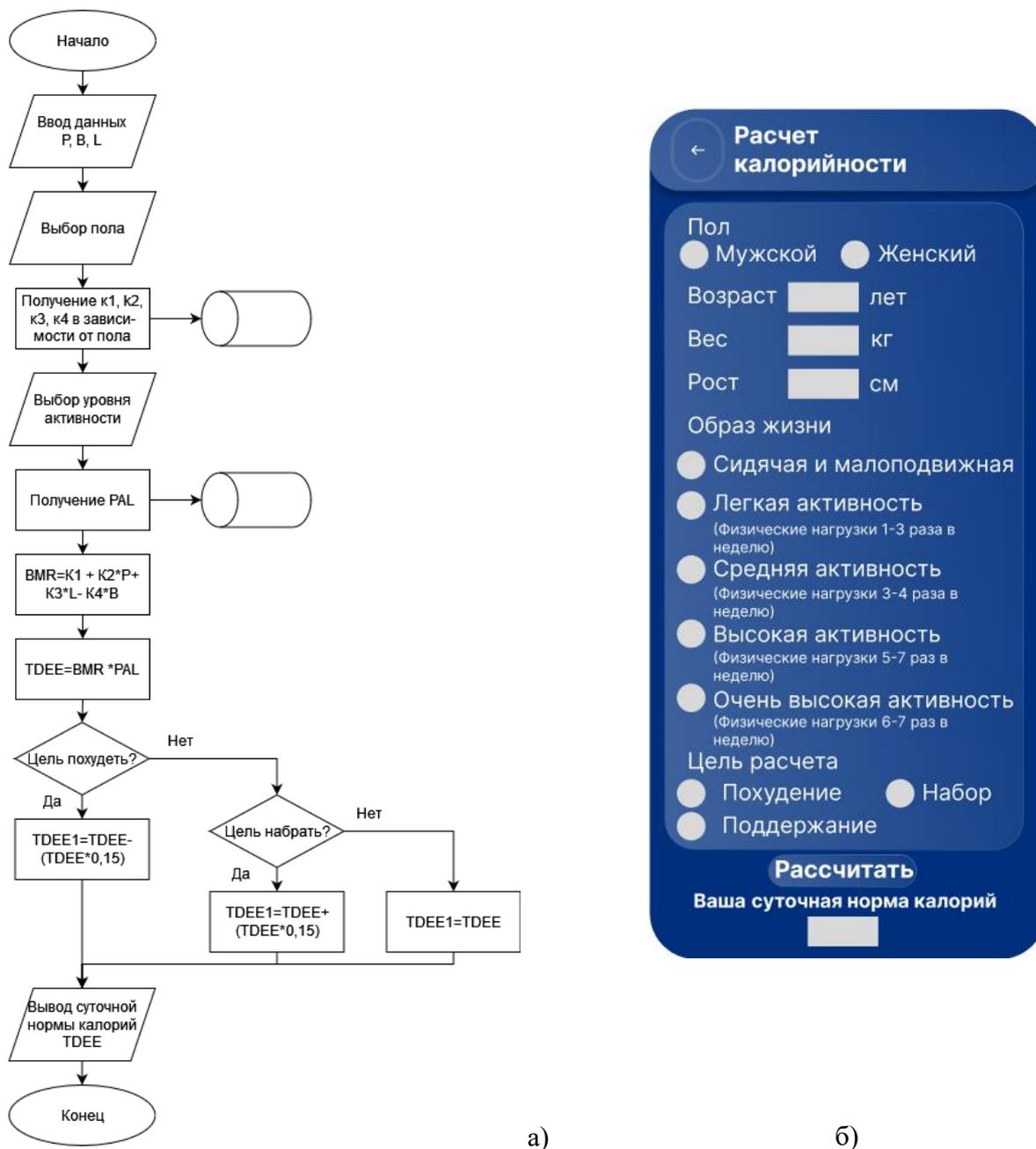


Рис. 2 – а) Алгоритм расчета оптимальной калорийности рациона; б) Форма ввода

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Ипатова, Э. Р. Методологии и технологии системного проектирования информационных систем: учебник / Э. Р. Ипатова, Ю. В. Ипатов. – 3-е изд., стер. – Москва: ФЛИНТА, 2021. – 256 с.: табл., схем. – (Информационные технологии). – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=79551> (дата обращения: 09.11.2024). – Библиогр.: с. 95-96. – ISBN 978-5-89349-978-0. – Текст: электронный.

2. ФБУЗ «Центр гигиенического образования населения» Роспотребнадзора. –
URL: <https://cgon.rospotrebnadzor.ru/naseleniyu/zdorovyy-obraz-zhizni/kak-snizit-ves-pri-ozhirenii/> (дата обращения: 09.11.2024)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА ТОКА
ГЛАВНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГОРИЗОНТАЛЬНО – РАСТОЧНОГО СТАНКА
2Б660**

Хрипкова К.В., Петров В.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
kksenia.hr@gmail.com, Petrov.VA@misis.ru*

***Аннотация.** В данной статье рассматривается применение нечеткой логики для настройки регулятора тока главного электропривода горизонтально – расточного станка 2Б660.*

Ключевые слова: двигатель постоянного тока; контур тока; электропривод; нечеткий регулятор; ПИ – регулятор; горизонтально – расточной станок 2Б660.

**USING FUZZY LOGIC TO SET UP THE MAIN ELECTRIC DRIVE CURRENT
REGULATOR OF THE 2B660 HORIZONTAL BORING MACHINE**

Khripkova K.V., Petrov V.A.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University «MISIS» (STI NUST MISIS)

***Abstract.** This article deals with the application of fuzzy logic then adjust the current controller of the main electric drive of horizontal boring machine 2B660.*

Keywords: DC motor; current loop; electric drive; fuzzy controller; PI – controller; horizontal boring machine 2B660.

В настоящее время в промышленности, несмотря на значительное количество разработок в области адаптивного и оптимального регулирования, управление технологическими процессами в большинстве случаев осуществляется с использованием ПИД, ПИ и П регуляторов (Рис. 1). Однако системы управления, основанные на этих принципах, являются детерминированными и не учитывают нелинейность реальных

объектов управления в различных областях. Это, в свою очередь, приводит к ухудшению качества регулирования, а также увеличивает время и затраты на производство продукции.



Рис. 1 – Схема управления на основе ПИД регулятора

В связи с этим активно проводятся исследования по модернизации представленной схемы управления, особенно в аспекте регулятора. Существуют как адаптивные схемы управления, в которых адаптивность реализуется как классическими, так и интеллектуальными методами, так и схемы, где в роли регулятора выступает некая интеллектуальная система (например, нейронная сеть или нечеткая логика).

В данной статье предлагается рассмотреть возможность создания адаптивного настройщика параметров ПИ-регулятора с использованием методов нечеткой логики [3].

Настройка ПИД-регулятора на основе нечеткой логики обладает несколькими преимуществами:

- Нечеткая логика позволяет учитывать сложные зависимости между входными и выходными параметрами системы, что способствует улучшению качества управления.
- Этот метод применим к системам с нелинейными характеристиками или значительным количеством параметров.
- Нечеткая логика может быть использована для адаптации системы к изменяющимся условиям функционирования.

Реализация данного метода будет производиться в пакете Matlab (рис.2)

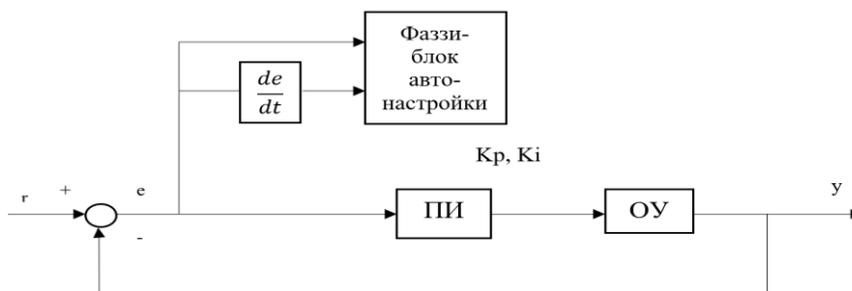


Рис. 2 – Система управления с адаптацией параметров регулятора на базе нечеткой логики

У нечеткого настройщика будет два входа:

- Сигнал рассогласования (ошибка),
- Скорость его изменения (рассогласование).

И два выхода:

- Значение параметра K_n
- Значение параметра $K_{\dot{n}}$

В данной статье объектом управления будет являться главный электропривод горизонтально – расточного станка 2Б660 [1], который управляется с помощью ДПТ и тиристорного преобразователя [2]. Параметры двигателя и ТП представлены ниже.

Характеристики ДПТ П101 – С1:

Мощность (P_n)– 49 кВт

Напряжение (U_n)– 220 В

Номинальный ток (I_n)– 251 А

Номинальная частота вращения ($n_{ном}$) – 1000 об. /мин.

Момент инерции (J) – 2,575 кг* M^2

Сопротивление якорной цепи (R_a) – 0,0275 Ом

Сопротивление обмотки возбуждения R_b – 34 Ом

КПД – 88,7%

Посчитанные данные для дальнейшей работы:

$$U_{DC} = \frac{U}{10} \quad (1)$$

$$U_{DC} = \frac{220}{10} = 22$$

$$U_{DC} = 22 \text{ В}$$

$$T_{\dot{a}} = \frac{L_a}{R_a} \quad (2)$$

$$T_{\dot{a}} = \frac{1,674 \cdot 10^{-3}}{0,0275} = 0,061$$

$$T_{\dot{a}} = 0,061 \text{ с}$$

Для контура тока посчитали П и И составляющие:

$$k_n = \frac{L_a}{2 \cdot T_{\dot{a}} \cdot U_{DC}} \quad (3)$$

$$k_n = \frac{1,674 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,005 \cdot 22} = 0,008$$

$$k_u = \frac{R_a}{2 \cdot T_s \cdot U_{DC}} \quad (4)$$

$$k_u = \frac{0,0275}{2 \cdot 0,005 \cdot 22} = 0,125$$

Передаточная функция регулятора тока:

$$W_{p.t.}(p) = 0,008 + \frac{0,125}{p} \quad (5)$$

Построили модель:

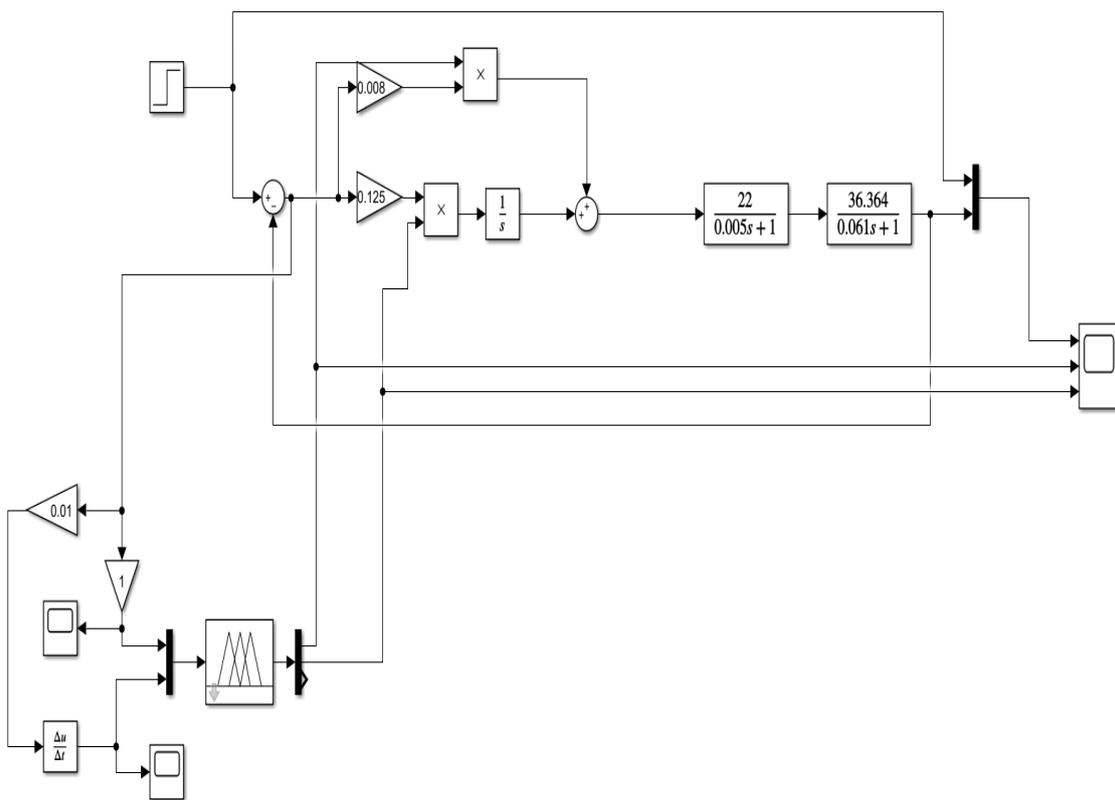


Рис. 3 – Система управления с использованием нечеткого регулятора

Результат моделирования представлен на рисунке 4.

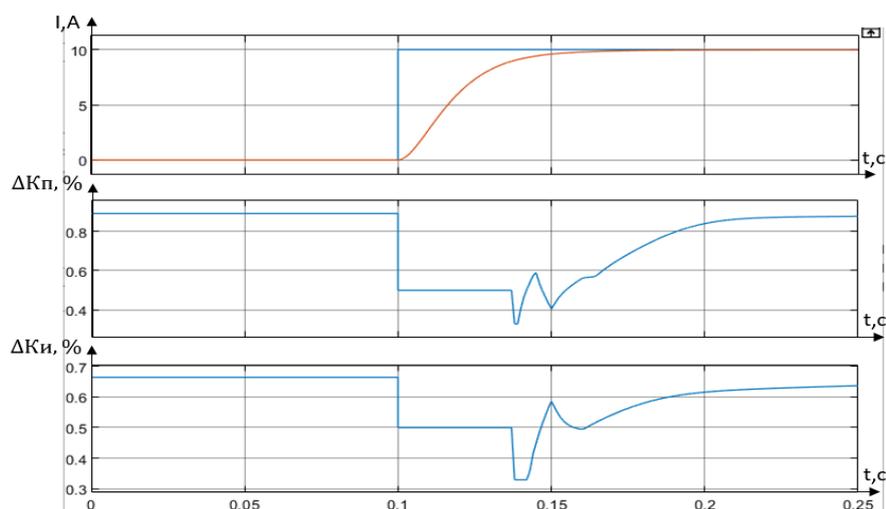


Рис. 4 – Результаты моделирования

По результатам моделирования можно сделать вывод о том, нечеткий настройщик позволяет в режиме реального времени изменять параметры ПИ-регулятора. Это позволяет повысить качество переходного процесса в контуре тока, а значит данная модель может быть использована для управления системой главного электропривода горизонтально – расточного станка 2Б660.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Паспорт и руководство по эксплуатации горизонтально-расточного станка 2Б660 – Текст: непосредственный.
2. Эксплуатационная документация тиристорного преобразователя MDC2-75. [Электронный ресурс]. – URL: https://rumatika.ru/catalog/arttech-bulgaria/id6024644_mdc-2-75/ (дата обращения: 5.11.2024).
3. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов: Учебник для студ. вузов / Под ред. В.М. Терехова. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 5. Донской Н.В., Кириллов А.А., Купчан Я.М. и др. Комплектные системы управления электроприводами тяжёлых металлорежущих станков / Под ред. А.Д. Поздеева. М.: Энергия, 1980. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.toroid.ru/terehovVM.html> (дата обращения: 02.11.2024).
4. Демидова Г.Л., Лукичев Д.В., Кузин А.Ю. Особенности применения нечетких регуляторов на примере управления скоростью электродвигателя постоянного тока // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики - 2016. - Т. 16. - № Том 16, Номер 5. - С. 872-878. [Электронный ресурс]. – URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2231.pdf> (дата обращения: 02.11.2024).

ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ВИБРАЦИИ НКО

Цуканов А.В.

Оренбургский государственный университет, Россия, Оренбург, 03-06-2000@mail.ru

***Аннотация.** Описана работа пьезоэлектрических датчиков. Представлены способы измерения уровня вибрации насосно-компрессорного оборудования. Приведены примеры измерения вибрации на разных частотных диапазонах для выявления различных дефектов.*

Ключевые слова: вибромониторинг; насос; компрессор; акселерометр; спектр огибающей.

APPLICATION OF PIEZOELECTRIC SENSORS TO MEASURE THE VIBRATION LEVEL OF PCE

Tsukanov A.V.

Orenburg State University Russia, Orenburg

***Abstract.** The operation of piezoelectric sensors is described. Methods for measuring the vibration level of pumping and compressor equipment are presented. Examples of vibration measurements at different frequency ranges to identify various defects are given.*

Keywords: vibration monitoring; pump; compressor; accelerometer; envelope spectrum.

В настоящее время нефтеперерабатывающие и нефтехимические предприятия активно используют большое количество насосно-компрессорного оборудования (НКО).

Работа насосов и компрессор всегда сопровождается вибрацией, и по мере износа, оседания фундамента и деформации деталей возникают незначительные изменения в их динамических характеристиках. Эти отклонения эффективно определяются с помощью вибрационных методов [1].

Источники вибрации могут вызывать различные дефекты оборудования, такие как перекос ротора, ослабление соединений, нарушения соосности валов, проблемы с жесткостью опоры агрегатов, кавитация и дефекты подшипников. Каждый из этих дефектов имеет свои диагностические признаки и спектры.

Для измерения вибрации наиболее часто применяют пьезоэлектрические датчики. Они характеризуются компактными размерами, широким диапазоном частот и динамики, а

также низкими коэффициентами влияния внешних условий, таких как температура, магнитные и электрические поля, звуковое давление и деформация объекта исследования.

Работа пьезоэлектрических датчиков основана на прямом пьезоэффекте (некоторые кристаллы или пьезокерамические материалы генерируют электрические заряды под воздействием внешних сил, включая переменные нагрузки). К наиболее распространённым пьезоэлектрическим материалам относятся кварц, турмалин, ниобат лития, цирконат титаната свинца, титанат висмута, окись цинка и другие [2-3].

Одним из ключевых факторов, ограничивающих использование пьезоэлектрических датчиков, является температура их эксплуатации. При превышении определённого температурного порога пьезоэлектрический элемент теряет часть своей поляризации, что приводит к снижению коэффициента преобразования датчика. Если температура достигает точки Кюри материала пьезоэлемента, поляризация полностью исчезает, и датчик выходит из строя. На низких температурах применение пьезоэлектрических датчиков может быть ограничено из-за риска растрескивания пьезоэлектрического материала. Тем не менее, сам пьезоэлемент способен выдержать достаточно высокие температуры, а вот микросхема выходит из строя уже при превышении 190-200 °С. Поэтому в случаях, когда вибродатчик необходимо поместить на агрегат, эксплуатирующийся при высокой температуре, используют модифицированные датчики с разделенной конструкцией (микросхема находится за пределами высокой температуры). В этом случае вибродатчик можно применять вплоть до 500-600 °С.

Для диагностики двигателей важно учитывать характеристики вибрации в разных частотных диапазонах. Обычно вибрационный мониторинг машин сосредоточен на их низкочастотной вибрации, поскольку более 50% серьезных дефектов влияют именно на этот диапазон. Однако диагностика по низкочастотной вибрации имеет ряд недостатков:

- невозможность выявления и оценки многих типов дефектов, которые могут привести к отказам машин, что затрудняет получение надежного долгосрочного прогноза состояния оборудования.

- Сложность разделения составляющих вибрации, так как низкочастотная вибрация слабо затухает при распространении. Вибрация, достигающая точки измерения, может происходить от всех узлов механизма и соседних машин, что создает трудности в локализации дефекта и снижает помехоустойчивость анализа.

- Проблемы с обнаружением начальных дефектов, так как на низких частотах механизм колеблется как единое целое, и для возбуждения вибрации на отдельной составляющей требуются значительные колебательные силы, которые возникают только при

наличии развитых дефектов. Поэтому дефекты на ранних стадиях практически не проявляются в низкочастотной области спектра [4-5].

Среднечастотная вибрация может возбуждаться без значительных колебательных сил, однако анализ вибрации отдельных узлов в этом диапазоне не всегда повышает эффективность диагностики. У многих машин на средних частотах наблюдается большое количество резонансов, и даже незначительные изменения частоты вращения или механических свойств могут существенно повлиять на уровни вибрации. Аналогичные искажения могут происходить из-за изменений нагрузки, температуры, влажности и других факторов, что требует внесения множества поправок в результаты измерений.

Установлено, что вся информация о техническом состоянии объекта содержится в огибающей кривой высокочастотного сигнала вибраций. Спектр огибающей вибрации представляет собой узкополосный спектр, выделенный из высокочастотных случайных составляющих с помощью полосового фильтра. По частотам и амплитудам гармонических составляющих спектра огибающей можно определить характеристики случайной вибрации, вызванной дефектами в узлах трения, которые приводят к амплитудной модуляции. Гармонические составляющие отсутствуют в спектре огибающей бездефектных узлов. Из-за повреждений в узлах трения вибрация подвергается амплитудной модуляции, где частота модуляции указывает на тип дефекта, а глубина модуляции - на его величину. В спектре огибающей эти параметры однозначно определяются частотами и амплитудами новых гармонических составляющих [6-7].

Большинство производителей для мониторинга и диагностирования состояния агрегатов применяют разные методы для получения наиболее точной информации. Стоит заметить, что следует использовать не только разные методы измерения, но и устанавливать датчики в разных направлениях (горизонтальное, вертикальное и осевое) для получения полной картины развития дефектов подшипников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620041 Российская Федерация. База данных характерных частот эксплуатационных дефектов подшипников качения : № 2014621494 : заявл. 05.11.2014 : опубл. 12.01.2015 / И. Л. Абрамов ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ). – EDN MYFOYB.

2. Беседный, Н. Г. К разработке цифровой модели для предписывающего обслуживания промышленного оборудования / Н. Г. Беседный, С. А. Марченков, Д. Ж.

Корзун // Цифровые технологии в образовании, науке, обществе : Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции, Петрозаводск, 30 ноября – 03 2021 года. – Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет, 2021. – С. 14-16. – EDN TVJNVE.

3. Цуканов, А. В. Разработка автоматизированной системы машины пакетной резки прокатного производства / А. В. Цуканов, К. В. Лицин // Черные металлы. – 2023. – № 1. – С. 38-43. – DOI 10.17580/chm.2023.01.06. – EDN KLTYQG.

4. Кондрашкина, Е. Г. Автоматическая диагностика технического состояния промышленного электрооборудования / Е. Г. Кондрашкина, А. У. Зиннатуллин // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России - 2021 : сборник статей II Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, Сургут, 22–23 апреля 2021 года. – Москва: Издательство "Знание-М", 2021. – С. 189-190. – EDN KNPPZG.

5. Zhussupbekov, A. Vibration Monitoring of Driving Piles on the an Existing Foundation / A. Zhussupbekov, G. Tleulnova // Труды университета. – 2023. – No. 1(90). – P. 226-232. – DOI 10.52209/1609-1825_2023_1_226. – EDN WJKCXH.

6. Litsin K.V., Tsukanov A.V., Zhenenko A.I. "Development of an Automatic System for Regulating Sinter Burden Moisture at JSC «Ural Steel»," // 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2021, pp. 557-560.

7. Системы вибромониторинга ZETLAB: оценка реального состояния машин и механизмов // Информатизация и системы управления в промышленности. – 2023. – № 2(104). – С. 129-131. – EDN PIKQZN.

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА ВИДА КВАДРУПЕД

Чуева Е.С., Станкевич В.Е.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)
elizoveta.chueva@mail.ru, st_vladislav2000@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрено планирование траектории движения шагающего робота вида квадрупед. Используя уравнение окружности, вывели координаты точек, служащих для траектории движения.

Ключевые слова: обратная задача кинематики; уравнение окружности.

PLANNING THE TRAJECTORY OF A WALKING QUADRUPEDAL ROBOT

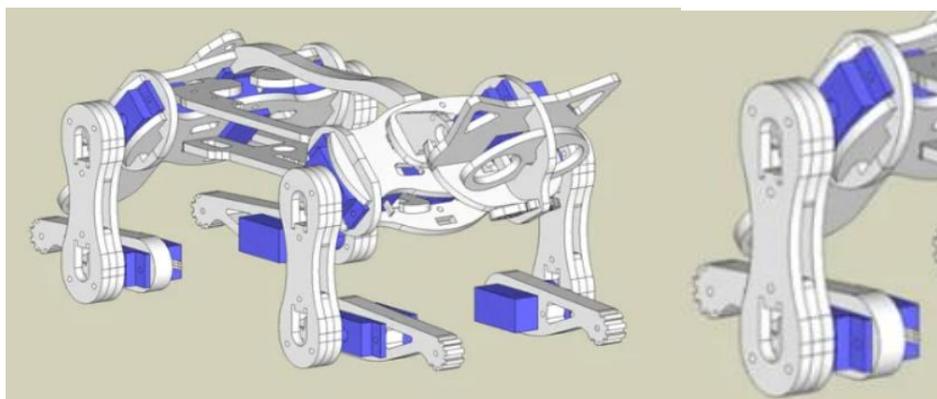
Chueva E.S., Stankevich V.E.

Starooskolsky Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" (STI NUST MISIS)

Abstract. This article discusses planning the trajectory of a walking quadruped robot. Using the equation of a circle, we derived the coordinates of the points that serve as the trajectory of movement.

Keywords: inverse kinematics problem; equation of a circle.

Одним из важных этапов исследования системы управления шагающими роботами (рисунок 1.а) является планирование траектории движения. Каждая «лапа» робота состоит из двух сочленений (рисунок 1.б). Перед тем как перейти к планированию траектории движения, нужно было решить обратную задачу кинематики и составить математическую модель объекта.



а)

б)

Рис. 1 – Шагающий робот вида квадрупед: а) общий вид; б) вид на сочленение

Под планированием движения понимается поиск бесконфликтного пути для перемещения твердого тела или кинематической конструкции в пространственно-трехмерной сцене. Искомый путь представляет собой непрерывную кривую в конфигурационном пространстве объекта, которая соединяет его начальное и конечное положения [1].

Для того, чтобы движение робота было более реалистичным, конечный эффектор должен описывать окружность (рисунок 2).

Общее уравнение окружности имеет вид (1):

$$x^2 + y^2 = R^2 \quad (1)$$

Далее в уравнение окружности (1) добавим начальные координаты x_0 , y_0 (2):

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2 \quad (2)$$

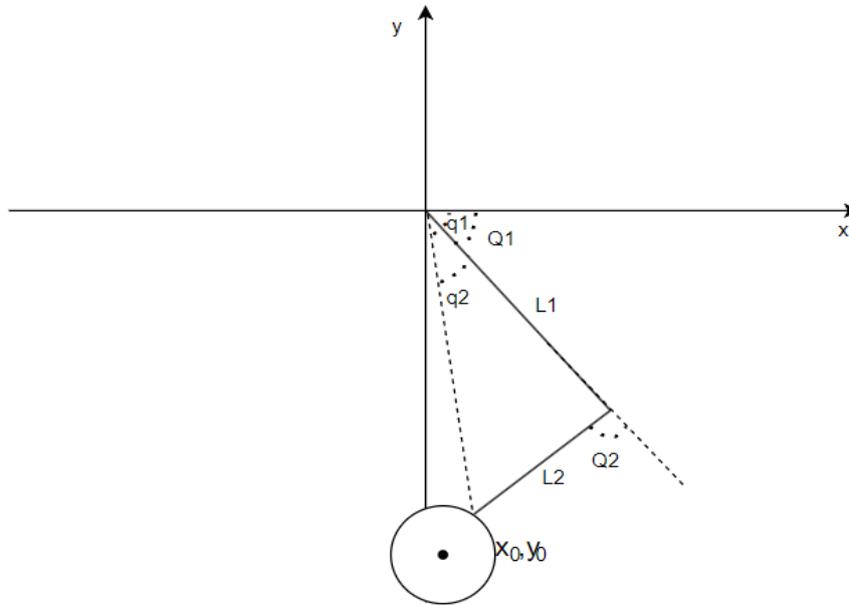


Рис. 2 – Графическое представление траектории движения

Вывели уравнения относительно координат x, y (3):

$$\begin{cases} x = R * \cos(\varphi) + x_0 \\ y = R * \sin(\varphi) + y_0 \end{cases} \quad (3),$$

где R – радиус окружности, который задаётся; x_0, y_0 – координаты центра окружности.

Для реализации необходимо поделить окружность на точки в плоскости. Экспериментальным путём выяснили, что оптимальное количество точек равно пятидесяти семи. Это обеспечивает достаточную плавность движения системы [2], и такие вычисления не будут ограничены выбранной микропроцессорной техникой. Чтобы найти координаты этих точек, рассмотрели уравнение окружности (2). Угол φ для каждой позиции находится по следующей формуле (4):

$$\varphi = \frac{2 * \pi}{k} * n \quad (4),$$

где k – количество точек; n – номер точки.

Из этой системы уравнений (3) получили набор координат точек, которые лежат на окружности.

В прошлой статье была решена обратная задача кинематики, откуда следуют следующие формулы (5), (6):

$$Q_1 = \arccos\left(\frac{x}{y}\right) - \arccos\left(\frac{L_1^2 + y^2 - L_2^2}{2 * y * L_1}\right) \quad (5)$$

$$Q_2 = \pi - \arccos\left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - y^2}{2 * L_1 * L_2}\right) \quad (6),$$

где L_1 – длина звена от основания тела робота, L_2 – длина звена от места сочленения с первым звеном до поверхности.

Подставим формулы (3) в уравнения (5) и (6):

$$Q_1 = \arccos\left(\frac{R \cdot \cos(\varphi) + x_0}{R \cdot \sin(\varphi) + y_0}\right) - \arccos\left(\frac{L_1^2 + (R \cdot \sin(\varphi) + y_0)^2 - L_2^2}{2 \cdot (R \cdot \sin(\varphi) + y_0) \cdot L_1}\right) \quad (7)$$

$$Q_2 = \pi - \arccos\left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - (R \cdot \sin(\varphi) + y_0)^2}{2 \cdot L_1 \cdot L_2}\right) \quad (8)$$

Получили набор обобщённых координат для одной «лапы».

Далее получили массив данных, который хранит в себе обобщенные координаты всех звеньев.

Следующим этапом перевели обобщенные координаты в углы поворота сервоприводов для реального объекта по формуле (9):

$$\begin{cases} \alpha = \frac{\pi}{2} - Q_1 \\ \beta = \frac{\pi}{2} - Q_2 \end{cases} \quad (9),$$

где α – угол поворота сервопривода первого звена; β - угол поворота сервопривода второго звена.

Далее полученный массив данных загрузили в микроконтроллер.

В итоге выбрали окружность, как траекторию, которую должен описывать конечный эффектор для получения более реалистичного движения объекта. Вывели систему уравнений относительно координат x , y . С помощью полученных координат точек получили углы поворотов для сервоприводов. Вследствие чего объект может совершать прямолинейное движение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Казаков К. А., Семенов В. А. Обзор современных методов планирования движения //Труды Института системного программирования РАН. – 2016. – Т. 28. – №. 4. – С. 241-293.
2. Квадрупеды URL: <https://robotrends.ru/robopedia/kvadrupedy?ysclid=lu2yvdu-7qm627134671>

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1 «МЕТАЛЛУРГИЯ»	4
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЭМАЛЕВОЙ ГРУНТОВКИ НА ГОРЯЧЕБРИКЕТИРОВАННОЕ ЖЕЛЕЗО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО УСТОЙЧИВОСТИ К ВТОРИЧНОМУ ОКИСЛЕНИЮ <i>Арутюнян А.Б., Кожухов А.А.</i>	4
ИСКЛЮЧИТЬ СБОЙНЫЕ СИТУАЦИИ В РАБОТЕ ДЕФЕКТОСКОПА ЛИНИИ АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ ТРУБ <i>Денисов Н.О.</i>	10
КРАТКИЙ ОБЗОР ХАРАКТЕРИСТИК БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН <i>Никитченко Т.В., Денисова Е.Э., Тимофеева А.С.</i>	17
ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА <i>Ермоленко К.А., Тимофеева А.С.</i>	22
ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ <i>Ешукова О.П.</i>	27
ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ, НАНЕСЕННЫЕ ДЕТОНАЦИОННЫМ МЕТОДОМ НА ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ <i>Зайцев С.В.</i>	31
ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО ДЕЛА В РОССИИ <i>Иванова Т.В., Колмыков В.Р.</i>	37
РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАМОТКИ ШАР-БАЛЛОНА С ПОЛИМЕРНЫМ ЛЕЙНЕРОМ <i>Ивановская О.В.</i>	42
МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ <i>Киселева Н.А.</i>	51
ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Кочергина И.Н., Кочергин Н.В., Чабан М.Р.</i>	56
ОЦЕНКА РИСКОВ И ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЯХ <i>Кретова А.А., Ешукова О.П.</i>	63
УДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ <i>Лихтина Е.Ю., Тимофеева А.С.</i>	67
МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВЫТЕКАНИЯ МЕТАЛЛА ИЗ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА ПРИ УСЛОВИИ МАЛОЙ ВЯЗКОСТИ. <i>Лукьянов И.Е., Сазонов А.В., Сурков В.П., Шатерников С.Г.</i>	72
ПРОИЗВОДСТВО БИОГАЗА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД <i>Лунегова А.А., Рябушкин И.А., Дунайская Л.С.</i>	75
ПУТИ ВОВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВО <i>Лунегова А.А., Василега Н.А.</i>	80
РАЗВИТИЕ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЧЁРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Малахова О.И., Петелин А.С., Кожокарь И.М.</i>	86

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ МЕЖПЛАВОЧНЫХ ПРОСТОЕВ В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ЦЕХАХ	91
<i>Малахова О.И., Клейменов А.А.</i>	
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТАВ ПОЛУПРОДУКТА ПРИ ЭЛЕКТРОПЛАВКЕ СТАЛИ	95
<i>Малахова О.И., Каменев В.А.</i>	
ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВЛЕНИЯ ГРАНИЦ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА СНТ	99
<i>Попов П.Е., Кретьова А.А.</i>	
ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ ОЗЕЛЕНЕНИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВА ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ ОТДЫХА НАСЕЛЕНИЯ И ЗАНЯТИЯ СПОРТОМ	102
<i>Попов П.Е., Ешуклова О.П.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ВЫГОРАНИЯ СЕРЫ В ПРОЦЕССЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ	106
<i>Никитченко Т.В., Реунов Д.С., Тимофеева А.С.</i>	
ВИДЫ ЗАКАЛОЧНЫХ СРЕД ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛА	112
<i>Рязанова А.Ю.</i>	
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЖИГА И ДОЗИРОВКИ БЕНТОНИТА И ИЗВЕСТНЯКА НА ПРОЧНОСТЬ ОКИСЛЕННЫХ ОКАТЫШЕЙ	116
<i>Ряполова М.С., Гладкая Е.А., Ряполов В.В., Болотов С.Г., Шевченко А.А.</i>	
ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ И ДИЗАЙНА ФУТЕРОВКИ КОВША СТАЛЕРЕЗЛИВОЧНОГО КС-160 В ЭСПЦ АО «ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА»	124
<i>Ряполова М.С., Гладкая Е.А., Ряполов В.В., Болотов С.Г.</i>	
ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ШЛАКА ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ ПРИ ПОПАДАНИИ В СТАЛЬКОВШ ШЛАКА ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА	128
<i>Сазонов А.В., Хантимиров В.Э.</i>	
К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ИЗВЕСТИ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОТСОРТИРОВКИ ИЗВЕСТНЯКА – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ (СООБЩЕНИЕ 1)	133
<i>Сазонов А.В., Жилин Е.А.</i>	
К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ИЗВЕСТИ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОТСОРТИРОВКИ ИЗВЕСТНЯКА – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ (СООБЩЕНИЕ 2)	138
<i>Сазонов А.В., Жилин Е.А.</i>	
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ПРОМКОВШЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЛАЗМЕННОГО ПОДОГРЕВА	142
<i>Сазонов А.В., Черменев Е.А., Дураков В.Ю.</i>	
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОПЛАВКИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ И ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРИОД	147
<i>Сазонов А.В., Черменев Е.А., Понкратов Н.В.</i>	
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ДСП	152
<i>Сазонов А.В., Черменев Е.А., Понкратов Н.В.</i>	

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛЕЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНА В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩЕГО ДЛЯ БРИКЕТОВ ИЗ ПОПУТНОЙ ПРОДУКЦИИ, С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК <i>Карамин А.В., Скляр В.А., Черменев Е.А.</i>	158
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ И РАБОТЫ ДЕФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССАХ ПРОКАТКИ <i>Скляр В.А., Акрамов Д.Б., Часовских Д.В.</i>	162
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОРАБОТКИ СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛИТКОВ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ <i>Скляр В.А., Дерусов А.И.</i>	167
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА СНИЖЕНИЯ ОБРЕЗИ ПРИ ПРОКАТКЕ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ <i>Скляр В.А., Елисеев Д.Н., Елисеева Е.Ю.</i>	172
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ ЗАГОТОВКИ ВО ВРЕМЯ КОВКИ С ЦЕЛЬЮ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ МАКРОСТРУКТУРЫ <i>Скляр В.А., Жихарев В.П.</i>	177
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОСАДКИ КВАДРАТНОЙ ЗАГОТОВКИ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕГО КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ <i>Скляр В.А., Ребенок А.П., Шарипов А.Х.</i>	183
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ В БРИКЕТЕ ПРЯМОВОСТАНОВЛЕННОГО ЖЕЛЕЗА <i>Скляр В.А., Ухаткин И.Ю., Гиряинова А.В.</i>	188
ИЗМЕНЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА РАБОЧИХ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНЦЕНТРАТА <i>Тимофеева А. С., Гладкая Е.А., Лихтина Е.Ю., Короткова Л. Н.</i>	193
ИЗМЕНЕНИЕ ВЫХОДА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА РАБОЧИХ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНЦЕНТРАТА <i>Тимофеева А.С., Гладкая Е.А., Никитченко Т.В., Кожухов А.А.</i>	199
ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНЦЕНТРАТА НА СУШКУ ОКАТЫШЕЙ <i>Тимофеева А.С., Кожухов А.А., Шевченко А.А., Федина В.В.</i>	204
ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КОНЦЕНТРАТА НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ОКАТЫШЕЙ ПРИ СУШКЕ <i>Тимофеева А.С., Гладкая Е.А., Федина В.В., Никитченко Т.В., Шевченко А.А.</i>	209
СЕКЦИЯ 2 «ГОРНОЕ ДЕЛО»	213
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ БУРОВЫХ СТАНКОВ ТИПА СБШ-250-МНА-32 <i>Бабанин Н.Г., Климов В.Н.</i>	213
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ <i>Кошелев В.В., Блудов А.Н.</i>	222
СОЗДАНИЕ МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ ДИСКОВОЙ ИГЛОФРЕЗОЙ, С УЧЕТОМ УГЛА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ <i>Кривоченков Ю.В., Блудов А.Н.</i>	231
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЗЕРВА АВР-6 кВ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ <i>Быков А.А., Кухарев С.Д.</i>	244

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКОДИСПЕСНЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ	249
<i>Жоау А.А., Шведов И.М.</i>	
УНИВЕРСАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА НА ПРОВОДАХ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ И КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ	254
<i>Козырев П.И., Сергеев И.А.</i>	
МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА МОСТОВОГО КРАНА НА ОБЪЕКТАХ ПО РЕМОНТУ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	260
<i>Козырев П.И., Мишустина А.В.</i>	
РАЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ ПО НАРЕЗКЕ ВЫРАБОТОК БУРОВЫХ ГОРИЗОНТОВ ОЧИСТНЫХ КАМЕР ВЕРХНЕГО ЭТАЖА ШАХТЫ АО «КОМБИНАТ КМАРУДА»	265
<i>Королёв Н.Д., Чуева Е.А.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ГОК	273
<i>Королькова Л.Н.</i>	
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОХРАНЫ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ	277
<i>Левина Т.А., Лунева А.В.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ИНФОРМАТИКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ХИМИЯ»	282
<i>Полева Е.А., Тарасенко Г.М.</i>	
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ОСНОВЕ СОСТАВА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ САМОХОДНЫХ МАШИН ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКОВ	289
<i>Сенаторов В.А., Сенаторова М.Г.</i>	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ РУДНИКА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОГАЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ДОБЫЧЕ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ	295
<i>Сенаторов В.А., Сенаторова М.Г., Калинин И.М.</i>	
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИНДУСТРИИ 4.0 НА ЭТАПАХ ДРОБЛЕНИЯ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ	301
<i>Скляр В.А.</i>	
ПОДХОД АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОТМЫВКИ КОНЦЕНТРАТА В СЕПАРАТОРЕ МАГНИТНО-ГРАВИТАЦИОННОГО ТИПА НА ПРИМЕРЕ ФАБРИКИ ОБОГАЩЕНИЯ АО «СТОЙЛЕНСКИЙ ГОК»	307
<i>Тараненко М.Е., Попова М.А.</i>	
ПОДБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ ВЛАГИ В КОНЦЕНТРАТЕ	319
<i>Тараненко М.Е., Скрылев Д.Р.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОГРАФИКИ НА ЗАНЯТИЯХ ПО ИНФОРМАТИКЕ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА	337
<i>Тарасенко Г.М.</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЩЕБНЯ НА ДСФ АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК»	343
<i>Терехин Е.П., Шляхов А.М., Парфенов Д.С.</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕЛЬНИЦЫ МРГ 40Х75 НА ОФ АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК»	350
<i>Терехин Е.П., Генералов В.В., Плешков В.А.</i>	

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСА ДАВЛЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ МОДУЛЬНОГО ВЗРЫВОРЕАКТИВНОГО КОМПЛЕКСА	357
<i>Шведов И.М., Соловьев В.О.</i>	
СЕКЦИЯ 3 «ГОРНОЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»	362
РАСЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ПОДКРЕПЛЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ВЫРЕЗА В СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ	362
<i>Авдеев В.И., Владимиров А.А., Кудинов Е.А.</i>	
3D ПЕЧАТЬ ВНУТРЕННИХ РЕЗЬБ	368
<i>Афонин А.Н.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ КМА ДЛЯ ПЛАЗМЕННОГО СИНТЕЗА ОБЛИЦОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	373
<i>Бессмертный В.С., Здоренко Н.М., Варфоломеева С.В., Гаевой А.П.</i>	
РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ	379
<i>Бородина М.Б., Шуляк Д.А.</i>	
ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ ДЕФОРМИРУЮЩИМ РЕЗАНИЕМ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ	386
<i>Васильев С.Г.</i>	
ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ СКОРОСТИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ	392
<i>Владимиров А.А., Кудинов Е.А., Гаевой А.П., Качановский А.Р.</i>	
ОБЗОР УСТАНОВОК ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ	397
<i>Владимиров А.А., Шаповалов А.И., Титова А.П., Панина А.И.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ	402
<i>Владимиров А.А., Гаевой А.П., Косилов С.А.</i>	
ОБЗОР МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НАРУЖНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	409
<i>Владимиров А.А., Гуртовой С.Н.</i>	
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖЕК ТЕПЛОВОЗОВ	416
<i>Жулдыбин А.А., Владимиров А.А., Шаповалов А.И.</i>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ В ЗАЩИТНЫХ СРЕДАХ	420
<i>Жулдыбин А.А., Владимиров А.А., Шаповалов А.И.</i>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИБРАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ	425
<i>Кудинов Е.А., Владимиров А.А.</i>	
ОБРАБОТКА ЗАГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ	433
<i>Ларин А.И., Пицулин А.Ю.</i>	
РЕЖУЩЕ-ДЕФОРМИРУЮЩАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛА ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ЕГО ПОВЕРХНОСТИ	439
<i>Ларин А.И.</i>	
АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОЙКОСТИ К АБРАЗИВНОМУ ИЗНАШИВАНИЮ	444
<i>Владимиров А.А., Шаповалов А.И., Леонов С.Д., Болотских А.С.</i>	

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ УПРОЧНЕНИЕМ РЕЗЬБ ДЕТАЛЕЙ ВИНТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ИМПУЛЬСНОЙ ОБКАТКОЙ РОЛИКОМ	449
<i>Мартынов Е.М., Романенко Д.Н., Гаевой А.П.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ ТУГОПЛАВКИХ КОМПОНЕНТОВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ	453
<i>Новоточинов А.П., Владимиров А.А., Гаевой А.П.</i>	
РАЗРАБОТКА РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ ТУГОПЛАВКИХ КОМПОНЕНТОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ	458
<i>Новоточинов А.П., Владимиров А.А., Гаевой А.П.</i>	
АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОЙКОСТИ К АДГЕЗИОННОМУ ИЗНАШИВАНИЮ	465
<i>Владимиров А.А., Шаповалов А.И., Пищулин А.Ю., Буряк Н.О.</i>	
АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОЙКОСТИ К ГИДРОАБРАЗИВНОМУ ИЗНОСУ	471
<i>Владимиров А.А., Шаповалов А.И., Скрипцов Д.Р., Козлов И.Ю.</i>	
АЛГОРИТМ АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД	476
<i>Сайдаминов И.А.</i>	
СТРАТЕГИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	483
<i>Сайдаминов И.А.</i>	
К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ РЕПРЕЗЕНТАТИВНОГО ОБЪЕМА МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	489
<i>Слободянский М.Г., Корчунов А.Г.</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСПАНДИРОВАНИЯ СВАРНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА	498
<i>Таупек И.М., Положенцев К.А.</i>	
ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	503
<i>Часовских А.С., Владимиров А.А., Бородина М.Б.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ КАРБОВИБРОДУГОВОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ГОРНО-ДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ	509
<i>Шаповалов А.И., Леонов С.Д., Скрипцов Д.Р.</i>	
МЕТОДИКА УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ДЕТАЛЕЙ ГОРНОГО И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ	515
<i>Шаповалов А.И., Владимиров А.А., Козлов И.Ю.</i>	
МИНЕРАЛЬНЫЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ, КАК ЭФФЕКТИВНАЯ АЛЬТЕРНАТИВА ПРИМЕНЕНИЯ БАББИТА В УЗЛАХ ТРЕНИЯ ГОРНОГО И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	523
<i>Поляков Р.Н., Шаповалов А.И., Кислов С.В.</i>	
СЕКЦИЯ 4 «АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»	532
О ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ПРИ РАЗРАБОТКИ НАДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ПЕЧАХ НАГРЕВА	532
<i>Алейник О.С.</i>	

О ПОВЫШЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ <i>Антилов А.О., Будовской И.И.</i>	537
ЭЛЕКТРОННОЕ МЕНЮ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОНЛАЙН-ЗАКАЗА, ДОСТУПНОЕ ПО QR-КОДУ <i>Антипенко И.О., Лазарева Т.И.</i>	541
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДОКУМЕНТООБОРОТА ДОУ <i>Бесхмельницына Ю.В., Лазарева Т.И.</i>	546
ПОДХОДЫ К РЕАЛИЗАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ И СИСТЕМАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ <i>Булгаков К.А., Станкевич В.Е.</i>	553
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕКУРРЕНТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ ПОСЛЕ НАГРЕВА В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ <i>Васильев Р.А., Жуков П.И.</i>	559
О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АЭП ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ <i>Гамбург К.С., Волобуев Д.С.</i>	564
АЭП ВЕНТИЛЯТОРА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АВТОТРАНСФОРМАТОРА <i>Гамбург К.С., Ковтун Н.И.</i>	570
АЭП ОБЖИГОВОЙ МАШИНЫ <i>Гамбург К.С., Лазарева Т.И.</i>	574
АЭП НАСОСНОГО АГРЕГАТА 6ФШ-7А ПОДАЧИ ГОТОВОГО ШЛАМА <i>Гамбург К.С., Уварова И.В.</i>	578
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЗАКАЧКИ ЭПОКСИДНОГО ПОРОШКА НА УЧАСТКЕ АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ ТРУБ <i>Денисов Н.О.</i>	583
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕДРЕЙСОВОГО ОСМОТРА САМОСВАЛОВ В НОТАЦИИ VRMN <i>Епифанов Н.А., Ковтун Н.И.</i>	586
ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ГРАДИЕНТА ЦЕЛЕВОГО ФУНКЦИОНАЛА ОБРАТНОЙ КОЭФФИЦИЕНТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СОСТОЯНИЙ СРЕДЫ, ОПИСЫВАЕМЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИМ УРАВНЕНИЕМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА <i>Жуков П.И.</i>	592
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МНОЖЕСТВЕННОЙ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ <i>Ковтун М.В.</i>	598
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА КОММУНИКАЦИИ С КЛИЕНТАМИ <i>Колотухина С.А., Лазарева Т.И.</i>	604
РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ НАЛИЧИЯ ШЛАКА НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА СИГНАЛА ВИБРОУСКОРЕНИЯ <i>Корнев А.В., Полеценко Д.А.</i>	609

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В СИСТЕМЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗА С ПОДАВЛЕНИЕМ КОЛЕБАНИЙ	614
<i>Косарев И.В., Молодых А.В.</i>	
О ЗАДАЧЕ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ИЗДЕЛИЙ САНФАЯНСА, ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ.	619
<i>Крючков Н.В., Полеценко Д.А.</i>	
ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ: ОПТИМИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕКРЁСТКАХ	624
<i>Курманова Д.А.</i>	
РАЗРАБОТКА ИС САНИТАРНО-КУРОРТНОЙ КНИГИ ПАЦИЕНТА ДЛЯ ДЕТСКОГО САНАТОРИЯ «НАДЕЖДА»	628
<i>Макухин А.А., Лазарева Т.И.</i>	
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ «СМАРТ-КОНТЕЙНЕРОВ» В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОМ ТЕРМИНАЛЕ	633
<i>Марченко Ю.В., Молаоди О., Попов С.И.</i>	
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛАКА НА ПОВЕРХНОСТИ ЖЕСТЯНЫХ ИЗДЕЛИЙ	643
<i>Мельникова К.Э., Полеценко Д.А.</i>	
О СИСТЕМЕ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ КАК ИНСТРУМЕНТЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОНЫ РИСКА С ВЫСОКОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОИСШЕСТВИЙ	648
<i>Москвитина В.Ю., Цыганков Ю.А.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМАХ	654
<i>Моторина Н.П., Тетеревлёва Е.В.</i>	
РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МЕТОДА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ РОМБИЧНОСТИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ	660
<i>Назаров Д.Е., Полеценко Д.А.</i>	
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРУЕМОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	666
<i>Основина О.Н.</i>	
МОДЕЛЬ РАЗЛИВОЧНОГО КРАНА В MATLAB SIMULINK	671
<i>Петров В.А., Воробьев В.С.</i>	
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РАЗЛИВКИ СТАЛИ НА ДЕФЕКТЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ	677
<i>Полеценко Д.А., Рукавицын К.О.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СИГНАЛА К ДАННЫМ, ПОЛУЧЕННЫМ С МАНИПУЛЯТОРА СЛИВНОЙ ТРУБЫ	683
<i>Полеценко Д.А., Коврижных Ю.А.</i>	
ТЕХНОЛОГИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИПРОГНОЗИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ С ОПТИМАЛЬНЫМ РАСХОДОМ ТОПЛИВА	688
<i>Рудаков В.А.</i>	
К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ПОДХОДОВ В СОЗДАНИИ МОДЕЛИ ШЕСТИЗОННОЙ ПЕЧИ НАГРЕВА МЕТАЛЛА	694
<i>Савостин Н.В.</i>	

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ АКТИВНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭКСКАВАТОРНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ <i>Симонов А.Э., Молодых А.В.</i>	700
ЗНАКОМСТВО С ПОГРУЖЕНИЕМ В ЦИФРОВУЮ ТРАНСФОРМАЦИЮ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ <i>Симонова А.Г.</i>	705
ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМЫ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЙ ДЛЯ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ <i>Симонова А.Г., Гофман И.В.</i>	710
МОДЕЛИ ЦИФРОВОЙ ЗРЕЛОСТИ <i>Симонова А.Г.</i>	715
РАЗРАБОТКА НАВИГАЦИОННО-ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДСЧЕТА НАГРУЗКИ МАРШРУТОВ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК <i>Симонова А.Г.</i>	720
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ HR-СЛУЖБЫ ООО «ИТ ЦЕНТР» <i>Сипулин В.И., Жуков П.И.</i>	726
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА СИГНАЛА ВИБРОУСКОРЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВНЕШНИХ ПОМЕХ И СИЛЫ УДАРА <i>Соколов Д.И., Полещенко Д.А.</i>	731
СТРАТЕГИИ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОЙ КОМБИНАЦИЙ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ МОДЕЛИ ПРЕДСКАЗАНИЯ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ <i>Соловьев А.Ю., Цыганков Ю.А., Климов В.Е.</i>	735
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ СКОРОСТЕЙ ДЛЯ ПЯТИЗВЕННОГО РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА <i>Станкевич В.Е., Петров В.А.</i>	741
РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧИ В ТЕКСТ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С НАРУШЕНИЕМ РЕЧЕВОГО АППАРАТА <i>Стрекозов С.Л., Полещенко Д.А.</i>	746
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ НА ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ <i>Таранина Н.Г., Какоткин С.А.</i>	750
ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ <i>Тетеревлева Е.В., Бурмистрова О.Н., Отев К.С.</i>	756
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ УСТРОЙСТВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В СИСТЕМУ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ <i>Тетеревлева Е.В., Моторина Н. П., Отев К. С.</i>	762
АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА У ПАЦИЕНТОВ С ДИЗАРТРИЕЙ <i>Уваров А.В., Михайлов И.С., Михайлюк Е.А.</i>	768
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ВСХОЖЕСТИ КАРТОФЕЛЯ <i>Устимов В.Ю.</i>	773
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ <i>Федосов И.В., Цыганков Ю.А., Мякотина М.В.</i>	779

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА МОДЕЛИРОВАНИЯ МАТЛАВ В ЗАДАЧЕ ВИРТУАЛЬНОГО ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ПО АСУТП <i>Фомин А.В.</i>	783
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА <i>Халапян С.Ю., Анпилов А.О.</i>	788
УПРАВЛЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯТОРОВ ДРОБНОГО ПОРЯДКА <i>Халапян С.Ю., Бородин Р.С.</i>	793
О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ОПЕРАТИВНОЙ АВТОНОМНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ <i>Халапян С.Ю., Меркулов В.А.</i>	797
АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА МОДЕЛИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЕСА СПОРТСМЕНОВ <i>Хамзаева Н.А., Ковтун Н.И.</i>	800
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА ТОКА ГЛАВНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГОРИЗОНТАЛЬНО – РАСТОЧНОГО СТАНКА 2Б660 <i>Хрипкова К.В., Петров В.А.</i>	807
ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ВИБРАЦИИ НКО <i>Цуканов А.В.</i>	811
ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА ВИДА КВАДРУПЕД <i>Чуева Е.С., Станкевич В.Е.</i>	815