



XVIII

**ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

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

ТОМ I

17 декабря 2021 г.

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»

**XVIII ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

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

17 декабря 2021 г.
г. Старый Оскол

Редакционная коллегия:

Боева Анна Вячеславовна – директор СТИ НИТУ «МИСиС», доц., к.п.н.

Кожухов Алексей Александрович – зам. директора по науке и инновациям СТИ НИТУ «МИСиС», доц., д.т.н.

Ильичева Елена Вячеславовна – зам. директора по учебно-методической работе СТИ НИТУ «МИСиС», проф., д.э.н.

Полева Наталья Анатольевна – зам. директора по практико-ориентированному образованию и довузовской подготовке СТИ НИТУ «МИСиС», доц., к.э.н.

Полешенко Дмитрий Александрович – декан факультета автоматизации и информационных технологий СТИ НИТУ «МИСиС», доц., к.т.н.

Макаров Алексей Владимирович – декан факультета металлургии и машиностроительных технологий, зав. кафедрой ТОММ им. В.Б. Крахта СТИ НИТУ «МИСиС», доц., к.т.н.

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

Сазонов Александр Васильевич – зав. кафедрой химии и физики СТИ НИТУ «МИСиС», доц., к.т.н.

Черменев Евгений Александрович – доцент кафедры металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой СТИ НИТУ «МИСиС», зав. лаб. НИЛ «ГорМет», к.т.н.

Рецензенты:

Боева Анна Вячеславовна – директор СТИ НИТУ «МИСиС», доц., к.п.н.

Кожухов Алексей Александрович – зам. директора по науке и инновациям СТИ НИТУ «МИСиС», доц., д.т.н.

Ильичева Елена Вячеславовна – зам. директора по учебно-методической работе СТИ НИТУ «МИСиС», проф., д.э.н.

Полева Наталья Анатольевна – зам. директора по практико-ориентированному образованию и довузовской подготовке СТИ НИТУ «МИСиС», доц., к.э.н.

Полешенко Дмитрий Александрович – декан факультета автоматизации и информационных технологий СТИ НИТУ «МИСиС», доц., к.п.н.

Макаров Алексей Владимирович – декан факультета металлургии и машиностроительных технологий, зав. кафедрой ТОММ им. В.Б. Крахта СТИ НИТУ «МИСиС», доц., к.т.н.

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

Сазонов Александр Васильевич – зав. кафедрой химии и физики СТИ НИТУ «МИСиС», доц., к.т.н.

Черменев Евгений Александрович – доцент кафедры металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой СТИ НИТУ «МИСиС», зав. лаб. НИЛ «ГорМет», к.т.н.

Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы восемнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Том I), 17 декабря 2021 г. / Ред. коллегия: А.В. Боева, А.А. Кожухов, Е.В. Ильичева, Н.А. Полева, Д.А. Полешенко, А.В. Макаров, С.В. Востокова, А.В. Сазонов, Е.А. Черменев. – Старый Оскол, 2022. – 658 с.

Сборник материалов Семнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство» (Том I)

Материалы публикуются в авторской редакции.

СЕКЦИЯ №1 МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 621.771

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА МЕТАЛЛА ПОД ПРОКАТКУ НА НЕПРЕРЫВНОМ СОРТОВОМ СТАНЕ

Абдувахобов А.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
s1705783@edu.misis.ru*

Аннотация. *Представлены результаты исследования температурных и энергосиловых параметров прокатки на стане 350 АО «ОЭМК им. А.А. Угарова» с целью оптимизации температуры нагрева металла под прокатку по минимуму суммарного расхода электроэнергии на прокатку и тепловой энергии на нагрев металла в методической печи. Путем проведения оптимизационных процедур в Microsoft Excel при сравнении данных о зависимости расхода электроэнергии на прокатку от температуры нагрева с изменением расхода газа на нагрев в методической печи получили наиболее оптимальную температуру нагрева в печи для 11 марок сталей.*

Ключевые слова: методическая печь; непрерывнолитая заготовка; оптимизация; прокатный стан; экономия энергии; низкотемпературный нагрев.

OPTIMIZATION OF THE HEATING TEMPERATURE OF THE METAL FOR ROLLING ON A CONTINUOUS MILL

Abduvakhobov A.A.

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

Abstract. *The results of a study of the temperature and power parameters of rolling at mill 350 of JSC "OEMK named after A.A. Ugarov" are presented in order to optimize the temperature of metal heating for rolling to minimize the total consumption of electricity for rolling and thermal energy for heating metal in a methodical furnace. By carrying out optimization procedures in Microsoft Excel, when comparing data on the dependence of electricity consumption for rolling on*

the heating temperature with a change in gas consumption for heating in a methodical furnace, the most optimal heating temperature in the furnace for 11 grades of steel was obtained.

Keywords: methodical furnace; continuous casting; optimization; rolling mill; energy saving; low-temperature heating.

Задача энергосбережения является актуальной для любого промышленного предприятия, поскольку позволяет снизить себестоимость продукции, а значит – повысить ее конкурентоспособность [1]. В прокатном производстве затраты энергии на нагрев металла превышают затраты энергии непосредственно на процесс прокатки поэтому основным путем экономии энергоресурсов в процессе прокатки следует считать снижение расхода газа на нагрев металла под прокатку [2, 3].

Одним из путей экономии газа на нагрев заготовок является так называемый процесс низкотемпературного нагрева, суть которого заключается в снижении температуры нагрева металла в методической печи, что, соответственно, приводит к снижению расхода природного газа [4, 5]. При этом затраты электроэнергии на прокатку незначительно возрастут в связи с повышением напряжения текучести металла [6, 7], но суммарные затраты энергии на нагрев и прокатку понизятся, в том числе и в денежном эквиваленте [8, 9].

Суть процесса низкотемпературного нагрева под прокатку заключается в уменьшении температуры нагрева в нагревательной печи на величину от 100 до 350 °С. При этом будет уменьшаться расхода топлива на нагрев металла, времени нагрева заготовок, окалинообразование и величина обезуглероженного слоя [10, 11]. Производительность же печи, наоборот вырастет [12].

Низкотемпературный нагрев используют на тонколистовых широкополосных станах, проволочных и непрерывных мелкосортных станах, где наблюдается интенсивный разогрев от деформации и снижение температуры нагрева компенсируется [13]. Также необходимо в данном случае учитывать влияние температуры деформации на свойства металла [14], особенно это важно для прокатки в последних клетях [15-20].

В соответствии с вышесказанным, целью исследования является разработка возможных вариантов эффективной реализации технологии низкотемпературного нагрева на стане 350 АО «ОЭМК им. А.А. Угарова».

Методика проведения исследования

На начальном этапе был произведен расчет режима обжатий круглого проката диаметром 40 мм, на основе которого были произведены последующие вычисления. Все параметры подбирались исходя из технических характеристик стана 350 АО «ОЭМК им. А.А. Угарова».

Расчеты температурного режима прокатки выполнялись по методике, приведенной в [21]. Расчет энергосиловых параметров в клетях черновой группы производили как для прямоугольной полосы, а в остальных клетях по методу приведенной полосы [22]. После внесения всех расчетов в листы Microsoft Excel проводили оптимизацию температуры нагрева металла под прокатку с использованием инструмента «Поиск решения» по алгоритму, представленному на рис. 1. Оптимизацию выполняли по минимуму суммарных затрат энергии на нагрев металла и прокатку во всех клетях непрерывного стана.

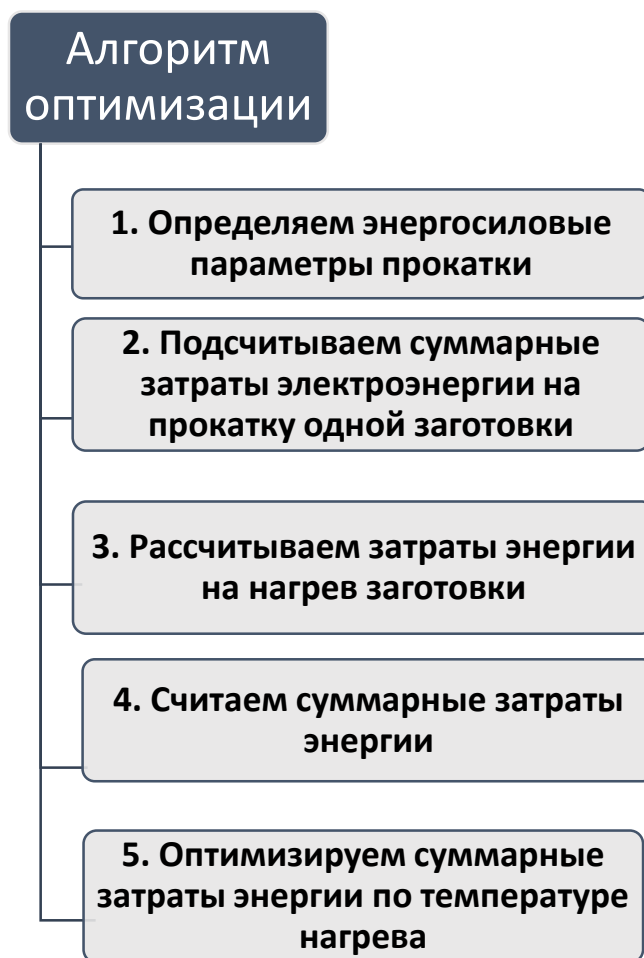


Рис. 1 – Алгоритм оптимизации температуры нагрева металла под прокатку с использованием инструмента «Поиск решения»

Результаты и их обсуждение

Результаты расчета энергосиловых параметров в шести клетях черновой группы для разных температур нагрева металла в диапазоне 900-1100 °С представлены на рис. 2. Как видим с понижением температуры прокатки сила прокатки и расход электроэнергии возрастают. Однако с понижением температуры прокатки снижается расход газа. Поэтому главной задачей должно стать нахождения оптимальной температуры нагрева металла, которая обеспечит баланс между сокращением расхода газа и увеличением расхода

электроэнергии.

Результаты оптимизации температуры нагрева металла под прокатку с использованием инструмента «Поиск решения» для 11 марок сталей представлены в таблице 1. Как видим, для разных марок сталей они отличаются, что связано с разным уровнем механических свойств этих сталей, и, соответственно, разными затратами энергии на их прокатку на прокатном стане. Также расчет энергосиловых параметров прокатки показывает, что при новых режимах нагрева они не превысят допустимые нагрузки для клеток стана.

Вывод

Произведенные расчеты температурных и энергосиловых параметров прокатки на стане 350 АО «ОЭМК им. А.А. Угарова» позволили определить суммарный расход электроэнергии на прокатку для разных температур нагрева металла в методической печи. Путем проведения оптимизационных процедур в Microsoft Excel при сравнении данных о зависимости расхода электроэнергии на прокатку от температуры нагрева с изменением расхода газа на нагрев в методической печи получили наиболее оптимальную температуру нагрева в печи для 11 марок сталей. Рекомендуемая оптимальная температура нагрева металла под прокатку лежит в диапазоне 952-986 °С.

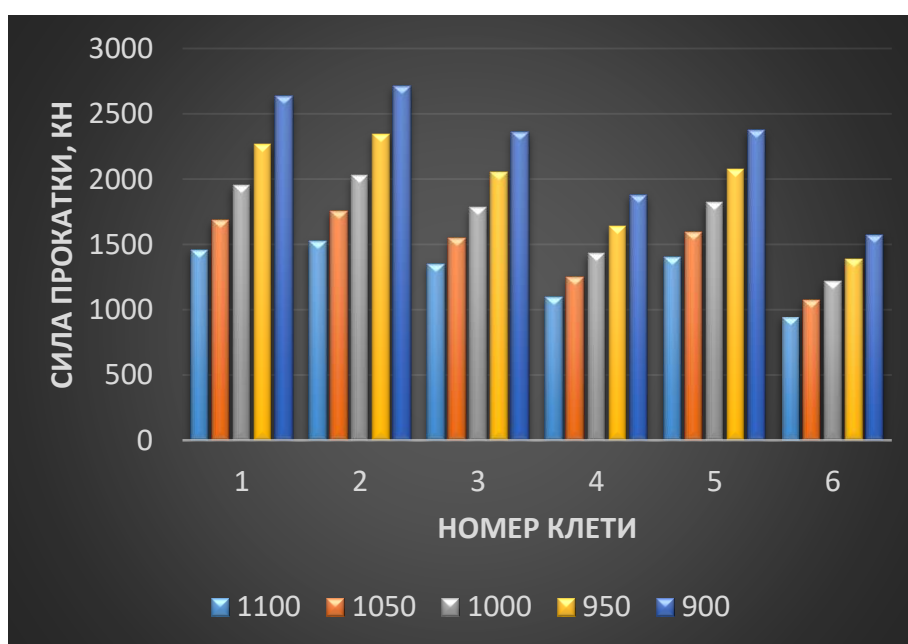


Рис. 2 – Распределение силы прокатки по клетям черновой группы в зависимости от температуры нагрева металла в печи

Таблица 1 – Оптимальная температура нагрева

Марка стали	Температура, °С	Марка стали	Температура, °С
09Г2С	984	12ХМ	986
45	961	10ХСНД	978
12ХНЗА	972	20Х13	964
40Х13	980	60	968
Ст3сп	966	10ХНДП	952
13ГС	975		

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Modeling of the Energy Potential saving in the production of seamless pipesa / V. Belevitin, Y. Smyrnov, S. Kovalenko, A. Suvorov, V. Skliar // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2017. Vol. 52. № 4. P. 718-723.
2. Мартынов, А.С. Энергопотребление и экоэнергетическая эффективность отраслей экономики Российской Федерации. Черная металлургия [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://interfax-era.ru/chernaya-metallurgia>. (Дата доступа: 14.04.2014).
3. Основные концептуальные положения энергосбережения на предприятиях черной металлургии / Злобин А.А., Курятов В.Н., Мальцев А.П., Романов Г.А. // Общество и экономика.- 2003.- №4.- С.29-35.
4. Смирнов Е.Н., Смирнов А.Н., Скляр В.А. и др. Оценка технологической целесообразности снижения температуры начала прокатки в условиях стана с обжимными клетями трио // Сталь. 2018. № 6. С. 21 - 26.
5. Сталинский, Д.В. Ресурсосбережение и энергоэффективность в сортопрокатном производстве / Д.В. Сталинский, А.С. Рудюк, В.С. Медведев // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ". - №47. - 2011. – С.102-109.
6. Скляр В.А., Самойлова Т.Д. Деформационное состояние в процессе прокатки квадратного подката в овальном калибре в клетях черновой группы непрерывного сортового стана // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство материалы тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Том I, 23-25 ноября 2016 г. - С. 124-131.
7. Минаев А. А. Демонотонность пластического формоизменения при прокатке овальных заготовок с неравномерным распределением температуры по сечению / А. А. Минаев, Е. Н. Смирнов, В. А. Белевитин // Известия вузов. Чёрная металлургия. - 1993. - №6. - С. 34-37.

8. Розенгарт, Ю.И. Вторичные энергетические ресурсы черной металлургии и их использование / Ю.И. Розенгарт, Б.И. Якобсон, З.А. Мурадова. – Киев: Выща шк., 1988. – 328 с.
9. Данилов, Н.И. Основы энергосбережения: учебник / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков. - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. - 564 с.
10. Белевитин В.А. Моделирование пластического формоизменения металлических заготовок: коллективная монография / В.А. Белевитин, А.В. Суворов, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов // Итоги науки. Избранные труды Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий. Том 1. - М.: РАН, 2014. - С. 175-199.
11. Данько, В.М. Низкотемпературная и „сухая” прокатка на толстолистовых станах / В.М. Данько // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні: тем.зб. наук. пр. – Краматорськ, 2001. – С. 478–480.
12. Смирнов Е.Н., Скляр В.А., Белевитин В.А., Смирнов А.Н., Пивоваров Р.Е. Совершенствование деформационного режима прокатки сортовых профилей из конструкционных марок стали в условиях непрерывного стана // Производство проката. - 2018. - № 8. - С. 19-25.
13. Снижение материальных и энергетических затрат при производстве листовой стали: тематический сборник научных трудов / Под ред. Ф.Е. Долженкова. - М.: Металлургия, 1990. - 119с.
14. Complete evaluation of extruded aluminum section and semiproduct mechanical properties under conditions of typical regional manufacturer ALTEK / Smirnov E.N., Sklyar V.A., Smirnov O.E., Mitrofanov M.V., Belevitin V.A., Smirnov A.N. // Metallurgist. - 2018. - Т. 61. - № 9-10. - С. 878-883.
15. Complete evaluation of extruded aluminum section and semiproduct mechanical properties under conditions of typical regional manufacturer ALTEK / Smirnov E.N., Sklyar V.A., Smirnov O.E., Mitrofanov M.V., Belevitin V.A., Smirnov A.N. // Metallurgist. - 2018. - Т. 61. - № 9-10. - С. 878-883.
16. Бондарев С.С., Зинченко С.А. Освоение технологии контролируемой прокатки и ускоренного охлаждения на модернизированном скоростном мелкосортном стане 250 ОАО "Ижсталь" // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2015. № 5 (1385). С. 44-48.
17. Губанов С.А., Чикишев Д.Н., Блондинская Е.Б. Контролируемая прокатка трубных сталей // Наука и производство Урала. 2014. № 10. С. 82-85.

18. Алексеев Д.Ю., Гущина М. Совершенствование технологии контролируемой прокатки // Приоритетные направления развития науки и образования. 2015. № 3 (6). С. 197-198.
19. Симаков Ю.В., Моллер А.Б., Поляков М.Г., Гасилин А.В., Пономарев А.Ф. Особенности контролируемой прокатки катанки // Материалы 62-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательской работы за 2002-2003 гг. Сборник докладов. 2003. С. 60-63.
20. Голи-Оглу Е.А., Борцов А.Н., Ментюков К.Ю. Исследование сопротивления пластической деформации низкоуглеродистых микролегированных сталей в интервале температур чистовой стадии контролируемой прокатки // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2011. № 2. С. 31-35.
21. Уйгели, В. В. Технология пластической обработки специальных сталей и сплавов. Раздел: Методика расчета калибровки профилей проката и проектирование калибров валков прокатных станов ОЭМК: учебно-методическое пособие / В. В. Уйгели. - Старый Оскол : СТИ МИСиС, 2004. - 110 с.
22. Клименко, В. М. Кинематика и динамика процессов прокатки: учебное пособие для вузов / В.М. Клименко, А.М. Онищенко. - М. : Металлургия, 1984. - 232 с.

ВЗАИМОСВЯЗЬ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Берсенов И.С., Поколенко А.Ю., Бородин А.В.

ООО «Научно-производственное внедренческое предприятие ТОРЭКС» (ООО «НПВП ТОРЭКС»), РФ,

г. Екатеринбург

i.bersenev@torex-npvp.ru

620000 Россия, г.Екатеринбург, пос. Полеводство, ул. Старожилов, д.72

Аннотация. *Представлены результаты анализа взаимосвязи прочности окатышей на сжатие и ее стабильностью между разными группами окатышей. Определено: наибольшая дисперсия характерна для окатышей; имеющих низкие средние значения прочности; 35...40% всей дисперсии выборки обусловлено четвертью окатышей с наименьшей прочностью; для наиболее прочных окатышей в пробе отсутствует взаимосвязь между прочностью и среднеквадратичным отклонением (СКО); окатышей середины слоя и наименее прочных окатышей прочность снижается по мере роста СКО. Подтверждено, что различия в прочности каждой партии окатышей формируются за счет незавершенности термообработки нижних участков слоя и главный резерв повышения качества окатышей – снижение неравномерности их качества по высоте слоя за счет более качественной термообработки середины и низа слоя.*

Ключевые слова: прочность на сжатие; окатыши; дисперсия; среднеквадратичное отклонение.

THE RELATIONSHIP OF STATISTICAL INDICATORS OF THE COLD COMPRESSION STRENGTH (CCS) OF IRON ORE PELLETS

Bersenev I.S., Pokolenko A.Yu., Borodin A.V.

NPVP TOREX LLC (Research and Development Company TOREX), Russia, Ekaterinburg

Abstract. *The results of the analysis of the relationship between the compressive strength of pellets and its stability between different groups of pellets are presented. Determined: the greatest dispersion is characteristic of pellets; having low average strength values; 35...40% of the total sample variance is due to a quarter of pellets with the lowest strength; for the most durable pellets in the sample there is no relationship between strength and standard deviation; pellets of the middle layer and the least durable pellets strength decreases with increasing standard deviation. It is*

confirmed that the differences in the strength of each batch of pellets are formed due to the incompleteness of heat treatment of the lower sections of the layer and the main reserve for improving the quality of pellets is to reduce the unevenness of their quality in the height of the layer due to better heat treatment of the middle and bottom of the layer.

Keywords: compressive strength; pellets; dispersion; standard deviation.

Объем производства окатышей в РФ неуклонно растет, и в соответствии с этим повышается доля использования окатышей в доменной шихте. Поэтому важен поиск новых путей повышения качества окатышей, что напрямую будет способствовать росту экономической эффективности производства металла [1]. Слойовой обжиг окатышей на конвейерной машине неизбежно сопровождается колебанием их прочности по высоте слоя, окатыши верхних упрочняются значительно лучше, чем нижних [2]. Правильный подбор режима обжига позволяет в определенной степени сглаживать эту неравномерность, сближая значения показателей прочности верха и низа слоя, с достижением при этом заданной величины прочности окатышей. Для потребителя важнейшим показателем качества продукции является гранулометрический состав товарных окатышей, а именно содержание фракции –5 мм [3, 4]. Ранее, в работах [2, 5, 6] были исследованы некоторые аспекты формирования прочности окатышей. Цель настоящей работы заключается в развитии модельных представлений о взаимосвязи прочности и стабильности качества окатышей, а именно – анализ влияния отдельных групп окатышей внутри выборки (пробы) на прочность и ее дисперсию.

Для исследования были выбраны три пробы (№1, №2, №3) окатышей с действующего производства. Каждая проба массой 5 кг была сокращена до 60 окатышей и подвергнута испытанию по ГОСТ 24765-81. Данные были проранжированы в порядке возрастания, после чего каждая выборка была разделена на 4 группы (четверти) по 15 окатышей каждая. В расчете принималось, что соотношение участков слоя «верх» (4), «середина» (3), «низ» (2), «постель» (1) одинаково. В таблице 1 приведены данные о влиянии удаления отдельных групп окатышей (1, 4, 1 и 4).

Таблица 1 – Значения прочности окатышей и влияния на ее отдельных групп внутри пробы

группы	показатель	Значения			эффект от удаления			эффект от удаления		
					группы, абс. величины			группы, %		
вся выборка	среднее	269,6	282,1	263,2	-	-	-	-	-	-
	СКО	82,1	64,8	84,2	-	-	-	-	-	-
вся выборка без группы 1	среднее	308,9	313,2	304,6	39,3	31,1	41,4	14,6	11,0	15,7
	СКО	53,0	39,9	50,2	-29,1	-25,0	-34,0	-35,5	-38,5	-40,3
вся выборка без группы 4	среднее	236,6	256,8	230,5	-32,9	-25,4	-32,7	-12,2	-9,0	-12,4
	СКО	67,5	55,1	70,1	-14,5	-9,8	-14,1	-17,7	-15,0	-16,8
вся выборка без групп 1 и 4	среднее	279,2	290,8	276,3	9,6	8,6	13,1	3,6	3,1	5,0
	СКО	32,2	24,6	24,0	-49,8	-40,2	-60,2	-60,7	-62,1	-71,4

На рис. 1 и 2 приведены данные о прочности и среднеквадратичном отклонении прочности на сжатие для каждой группы. Из этих данные видно, наибольшая дисперсия характерна для группы 1 каждой пробы, имеющий низкие средние значения прочности. Из таблицы 1 видно, что 35...40% всей дисперсии выборки обусловлено четвертью окатышей с наименьшей прочностью.

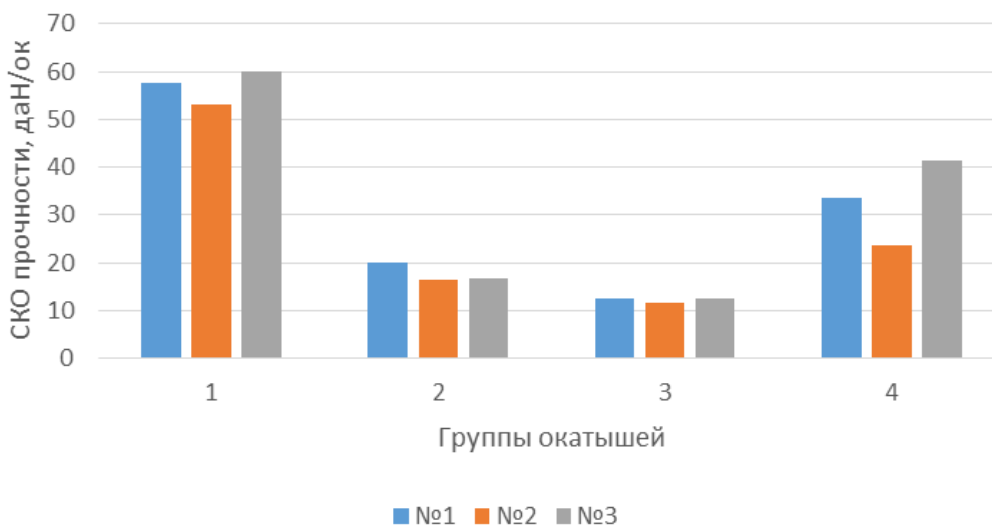


Рис. 1 – Среднеквадратичное отклонение прочности окатышей в зависимости от пробы (№1, №2, №3) и группы окатышей в пробе

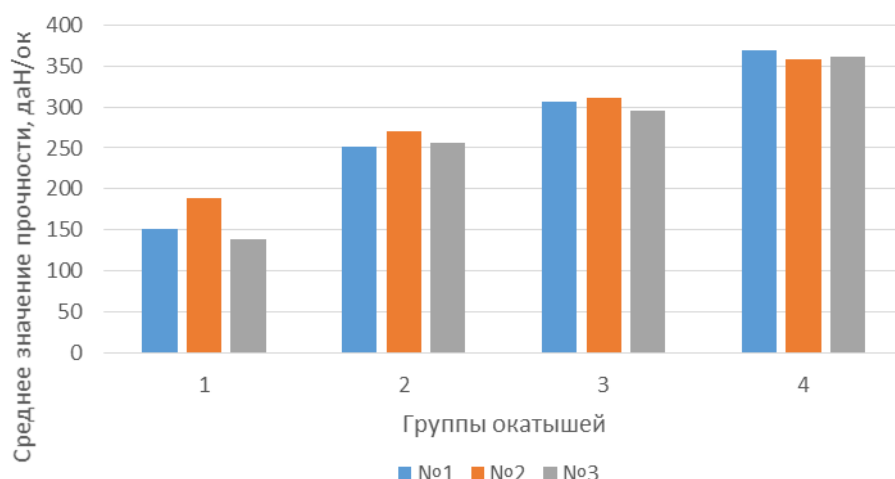


Рис. 2 – Среднее арифметическое значение прочности окатышей в зависимости от пробы (№1, №2, №3) и группы окатышей в пробе

Еще одна интересная зависимость может быть получена, если сопоставить значения среднего арифметического прочности и среднеквадратичного (Рис. 3). Видно, что для наиболее прочных окатышей в пробе (прямая 4) отсутствует взаимосвязь между прочностью и СКО. В то же время, для окатышей середины слоя (2,3) и наименее прочных окатышей (1) прочность снижается по мере роста СКО. Иными словами, различия в средней прочности каждой партии окатышей формируются за счет незавершенности термообработки нижних участков слоя и главный резерв повышения качества окатышей – снижение неравномерности их качества по высоте слоя за счет более качественной термообработки середины и низа слоя.

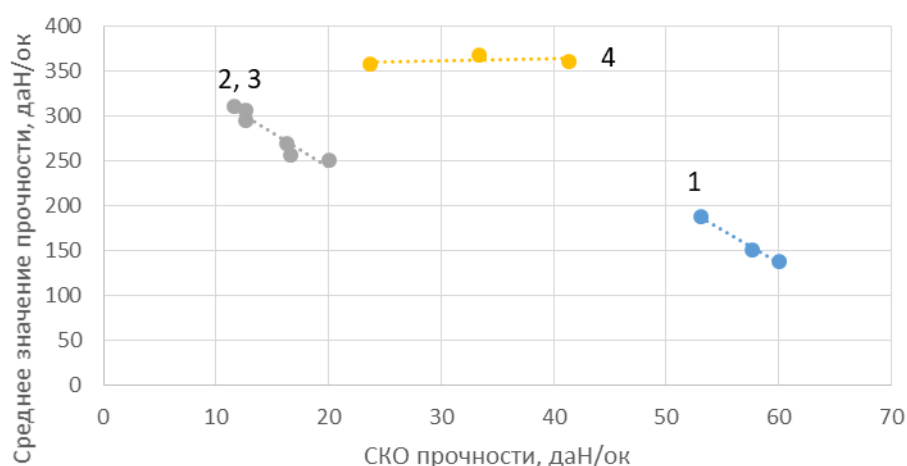


Рис. 3 – Среднее арифметическое значение прочности окатышей в зависимости от СКО прочности группы окатышей в пробе (цифры над кривыми)

Полученные данные могут быть полезны при разработке режимов обжига окатышей,

обеспечивающих для оценки целесообразности повышения среднего значения прочности на сжатие (за счет увеличения времени обжига или его температуры) или снижения среднеквадратичного отклонения (за счет повышения равномерности обжига по высоте слоя). В частности, очевидный (на качественном уровне) факт, что для повышения качества продукции нужно снижать долю наименее прочных окатышей может получить количественную трактовку. Например, при математическом моделировании обжига окатышей в слое изложенные выше зависимости могут обеспечить оценку изменения не только теплофизического состояния материала, но и качество обожженных окатышей. А при использовании данных работы [2] становится реальным прогнозировать и изменение содержания мелочи в окатышах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геерс М., Ченьо Р., Курунов И. и др. Современный доменный процесс. Введение. – М. : Металлургиздат, 2016. – 280 с.
2. И.С.Берсенева, В.В.Брагин, Г.Г.Бардавелидзе, А.Ю.Поколенко Анализ влияния дисперсии прочности железорудных окатышей на выход мелочи // Сталь, 2020, №11, с.17-20
3. Козуб А. В, Панченко А. И., Эфендиев Н. Т. и др. Управление металлургическими свойствами железорудных окатышей как основа стратегии повышения эффективности доменного производства // Сталь. 2016. № 10. С. 4 – 8.
4. Берсенева И. С., Брагин В. В., Угаров А. А. и др. Повышение технико-экономических показателей доменной плавки за счет оптимизации состава окатышей // Сталь. 2020. № 3. С. 19 – 23.
5. Берсенева И. С. Истираемость окатышей из концентратов железистых кварцитов // Наука и производство Урала. 2019. № 15. С. 2 – 4.
6. Колясников А. Ю., Лопатин А. С., Петрышев А. Ю., Берсенева И. С. Гранулометрический состав продуктов разрушения железорудных агломератов из железистых кварцитов при восстановлении / Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве : сб. докл. VII всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (ТИМ'2018) с междунар. участием (Екатеринбург, 17–18 мая 2018 г.). – Екатеринбург : УрФУ, 2018. С. 139 – 144.

СИНТЕЗ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ХОЛОДНОГО ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

Бондарь А.Ю., Корицкий Г.Г.,

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

кафедра цветной металлургии и конструкционных материалов

bondar_tosha@mail.ru, ggkor@mail.ru

Аннотация. В настоящее время в связи с кризисом в мире, связанный с дефицитом электрической энергии и «ошибочным» переходом на зелёную энергетику, как никогда востребованы «новые» и безопасные источники энергии, позволяющие получать её из окружающей среды. Целью данной статьи является анализ энергоустановок и результатов экспериментов на базе «ЭнергоНИВА» и «ЭнергоНИВА-2», работающих по принципу образования новых элементов под воздействием искусственной шаровой молнии. ХЯС реализованный в установке «ЭнергоНИВА», позволяет промышленности получить перспективный источник полиметаллических порошков, а при использовании постоянного тока – составные части (алканы) нефти.

Ключевые слова: ХЯС; «ЭнергоНИВА»; дейтонная технология.

SYNTHESIS OF POLYMETALLIC METAL POWDERS USING COLD NUCLEAR FUSION TECHNOLOGY

Bondar A.Yu., Koritsky G.G.,

Donetsk National Technical University, Donetsk

Department of Non-Ferrous Metallurgy and Structural Materials

Abstract. Currently, in connection with the global crisis associated with a shortage of electrical energy and the 'erroneous' transition to green energy, 'new' and safe sources of energy are in demand as never before, allowing it to be obtained from the environment.

The purpose of this article is to analyze power plants and the results of experiments on the basis of 'EnergoNIVA' and its further development 'EnergoNIVA-2', working on the principle of the formation of new elements under the influence of artificial ball lightning.

Conclusion: The HYAF implemented in the EnergoNIVA unit allows the industry to obtain a promising source of both electrical energy and polymetallic powders, and when using direct current, the constituent parts (alkanes) of oil.

Keywords: HYAS; 'EnergoNIVA'; dayton technology.

В 1956 году Курчатовым И.В. была выдвинута идея о возможности синтеза химических элементов в электрическом разряде, а в 1957 г. физиком Филимоненко И.С. было обнаружено явление холодного ядерного синтеза (ХЯС) в результате экспериментов.

Цель данной работы - анализ энергоустановки «ЭнергоНИВА» с одним реактором и экспериментов, проводимых на её базе Вачаевым А.В. и Ивановым Н.И., а также Павловой Г.А. на базе установки «ЭнергоНИВА-2» с тремя реакторами.

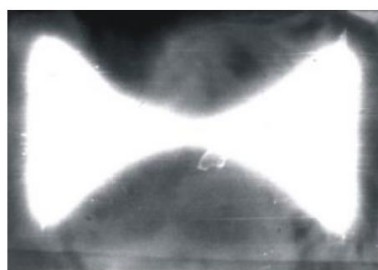


Рис. 1 – ПлазмOID, возникающий в реакторе между электродами при работе установки «ЭнергоНИВА»

Энергоустановка «ЭнергоНИВА». Эффекты, наблюдающиеся при работе установки:

- генерация избыточной тепловой и электроэнергий, 50/50%;
- производство большого количества новых элементарных элементов из воды (дистиллированная, проточная), ранее в ней не содержащиеся;
- появление неизвестного излучения, в том числе оптического при работе установки, [1].

Авторы установки - Вачаев А.В. (1936-2000), Иванов Н.И. (1924-2010). Первые упоминания в виде публикаций - 1994 год. Схема установки «Энергонива» и принципиальная схема основного элемента установки – реактора, приведены на рис. 2 и 3.

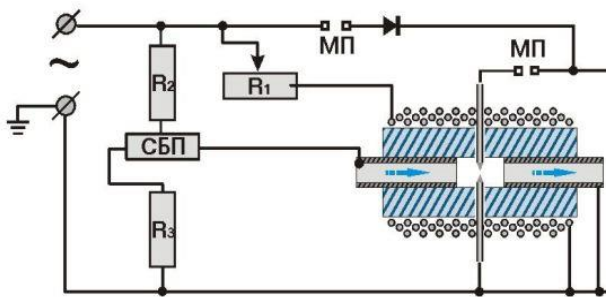


Рис. 2 – Схема установки «Энергонива». R1 – регулятор тока (15...20А) в катушке, R2 – регулятор тока в цепи тручатых электродов (5...7А), СБП – симисторный переключатель, R3 – внешняя нагрузка, МП – магнитные пускатели, С – батарея конденсаторов

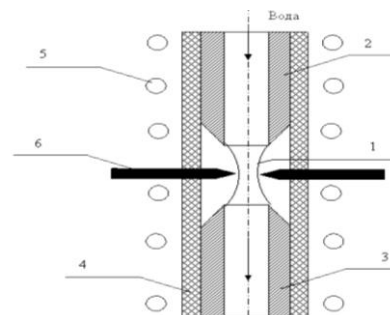


Рис. 3 – Принципиальная схема реактора: 1 – область разряда; 2 – верхний тручатый электрод; 3 – нижний тручатый электрод; 4 – корпус реактора; 5 – катушка (индуктор); 6 – импульсные электроды

Для начала процесса, на два электрода, вставленных с двух сторон реактора, осуществляется подача импульсного электроразряда. В результате инициации импульса между двумя электродами зарождается плазмод. Реакция холодного ядерного синтеза осуществляется внутри соленоида.

Материал корпуса реактора – диэлектрик (н/р ПВХ), толщина стенок $5 \div 8$ мм.

Электроды изготовлены из меди благодаря устойчивости к разрушению при разряде. Для качественного пуска установки используются электроды с углом заточки $< 40^\circ$.

Параметры установки коррелируются $D_{\text{внутр}}$ полых электродов. Зазор между полыми электродами $-1 \div 1,5D$ (при $D < 50$ мм). При уменьшении $t_{\text{ст}}$ стенок полых электродов, плазмод образуется быстрее и проще. В экспериментах использовались электроды с $t_{\text{ст}} = 1 \div 2$ мм. Ток на полых электродах $I_{\text{стаб}} = 0,1 \div 100$ А ($\sim 20 \div 40$ А). Пусковой $I_{\text{стаб}} - 18 \div 40$ А, во время работы ток меняться в пределах $- 20 \div 120$ А.

Стержни для импульсной нагрузки от конденсаторов имеют $D_{\text{ст}} = 3 \div 8$ мм без наконечников и с наконечниками из W, $D = 0,6 \div 1$ мм и длиной $5 \div 10$ мм. Тупоголовые электроды без наконечников заостряются под угол в $30 \div 45^\circ$. При подаче тока плотность импульсного тока составляет 2 кА/мм^2 , время разряда 10 мс. В опытах применялись батареи из конденсаторов ёмкостью - 200, 500, 700, 2400 мФ, 5 Ф.

Катушка - соленоид, со средним диаметром - $1,5D$. Сила тока определяется параметрами рабочей среды и величиной D . Во время проведения экспериментов $I_{\text{солен}}$ менялась в рамках $10 \div 150$ А.

Получаемая электрическая энергия в комплексе должна отводиться от установки в сеть, накопитель или во внешнюю среду.

Эффект работы установки увеличивается при последовательной установке двух и более реакторов, [2].

Схема установки "Энергонива-2" приведена на рис. 4.

Экспериментальные результаты при работе установок «ЭнергоНИВА» и «ЭнергоНИВА-2». Во время опытов, на вход в первый реактор установки подавались такие рабочие среды: вода (дистиллят, питьевая, речная воды), водно-минеральные смеси, стоки (промышленные и бытовые), водно-углеродные. Оптимальное соотношение - твердое/жидкое 1:10.

При использовании стабилизирующих электродов диаметром $6 \div 50$ мм, выход продуктов синтеза из зоны реакции агрегата зависит от скорости движения рабочей среды.

На графике рис. 5 показана зависимость выхода твердых продуктов из реакционной зоны агрегата от скорости движения рабочей среды.

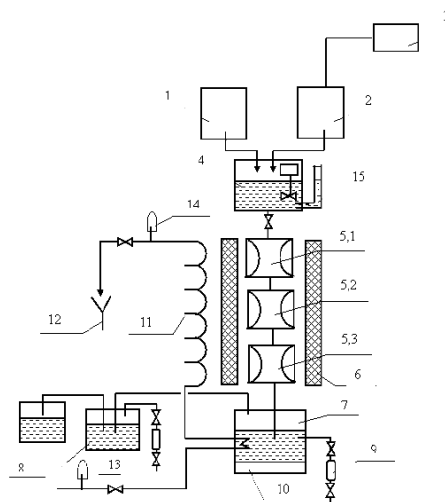


Рис. 4 – Принципиальная схема установки «ЭнергоНИВА-2»: 1 – бак с веществом; 2 – бак с водой; 3 – бак с добавками; 4 – смеситель; 5.1, 5.2, 5.3 – последовательно соединённые реакторы; 6 – соленоид; 7 – герметичный отстойник; 8, 9, 10 – контейнеры для твёрдой, жидкой и газовой сред; 11 – холодильник; 12 – мерный сосуд; 13, 14 – ртутные термометры, 15 – водомер

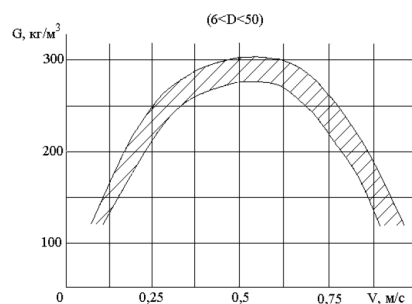


Рис. 5 – Зависимость выхода твердых продуктов из реакционной зоны агрегата от скорости движения рабочей среды

Опытно установлено, что при увеличении диаметра реактора увеличивается выход твердых материалов. В таблице 1 приведена зависимость, которая получена при выходе твёрдых продуктов при изменении диаметра реактора.

Таблица 1 – Выход твёрдых продуктов в установке «ЭнергоНИВА-2»

D, мм	10	15	20	25	32	40	52
G, г/мин	90	180	270	450	720	1080	1800

После проведения экспериментов было обнаружено наличие таких химических элементов: Li, Be, B, C, Mg, Si, P, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Sn, Se, Pb, Bi.

Авторы полагают, что в узкой части плазмоида происходит отделение электронов от ядра кислорода, содержащегося в воде. Ядро разваливается на устойчивые фрагменты, такие как дейтоны — представляющие из себя «слипшуюся» пару протон-нейтрон. Пройдя термоядерную зону, дейтоны вновь объединяются в атомы, но уже иных простейших элементов.

При работе аппаратов могут быть использованы два характерных режима: с приоритетом получения новых элементов или получения электрической энергии, [3].

Установлено, что максимум выхода твердых продуктов порядка 300 kg/m^3 происходит при скорости воды $0,55 \text{ m/s}$ и зависит от диаметра реактора. Исследования показали, что для получения каждого целевого элемента существует оптимальный ток стабилизации: для $\text{Zn} = 30 \text{ A/mm}^2$, $\text{Al} = 18,5 \text{ A/mm}^2$, $\text{Fe} = 22,2 \text{ A/mm}^2$, $\text{Cu} = 25 \text{ A/mm}^2$.

Экспериментально доказано, что из $1 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}$ при скорости течения в $0,55 \text{ m/s}$ можно получить $\rightarrow 214 \text{ kg Fe} + 20 \text{ kg Mn} + \dots + 3,2 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$ энергии, [2].

Состав порошков, полученных при работе установки «ЭнергоНИВА» представлено на рис. 6.

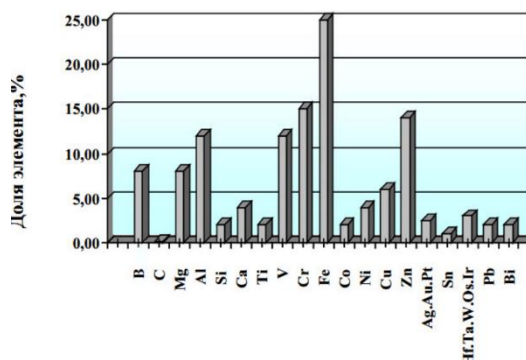


Рис. 6 – Состав порошков, полученных при работе установки «ЭнергоНИВА»

Заключение. В ходе анализа экспериментов были сделаны следующие выводы:

- в основе процесса работы установок «лежат сложные химико-физические процессы;
- данный процесс можно использовать для утилизации радиоактивных отходов атомной промышленности;
- изучение данного процесса может дать больше информации о другом, практически не изученном процессе – шаровой молнии;
- дейтонная горно-металлургическая технология позволяет расширить сырьевую базу черной и цветной металлургии, превращает черную и цветную металлургию из энергопотребляющей в энергопроизводящую отрасль;
- опыты Вачаева А.В., Иванова Н.И., а также Павловой Г.А. с постоянным током показали, что вместо полиметаллического порошка можно получать чистейшие алканы (составляющие нефти), [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. LiveJournal [Электронный ресурс]: живой журнал / данные о составителях сайта отсутствуют. Запорожье: Хрищанович Андрей Петрович, 12 сентября 2007 г. URL: <https://ss69100.livejournal.com/4810367.html> (дата обращения 15.10.2021);
2. «Взаимопревращения химических элементов». В.Ф. Балакирев, В.В. Крымский, Б.В. Болотов и др. Под ред. В.Ф. Балакирева. Екатеринбург: УРО РАН, 2003, с.64;
3. Docplayer [Электронный ресурс]: электронная библиотека / данные о составителях сайта отсутствуют. Общее собрание материала без конкретного указания автора статьи. URL: <https://docplayer.com/amp/66331125-Nizkotemperaturnaya-transmutaciya-himicheskikh-elementov-s-vydeleniem-energii-pri-elektromagnitnyh-vozdeystviyah.html> (дата обращения 15.10.2021);
4. Записки нонконформиста [Электронный ресурс]: живой журнал / Рулев Игорь, 2006г. URL: http://www.rulev-igor.narod.ru/theme_172.html (дата обращения 15.10.2021)

ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Бондарь А.Ю., Корицкий Г.Г.

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

кафедра цветной металлургии и конструкционных материалов

bondar_tosha@mail.ru, ggkor@mail.ru

Аннотация. В 1956 году Курчатовым И.В. была выдвинута идея о возможности синтеза химических элементов в электрическом разряде, а в 1957 г. физиком Филимоненко И.С. было обнаружено явление холодного ядерного синтеза (ХЯС) в результате экспериментов. Целью данной статьи является анализ технологии синтеза полиметаллических порошков на базе «ЭнергоНИВА» и «ЭнергоНИВА-2. ХЯС, реализованный в установке «ЭнергоНИВА», позволяет промышленности получить перспективный и недорогой (фактически бесконечный) источник полиметаллических порошков.

Ключевые слова: ХЯС; «ЭнергоНИВА»; дейтонная технология; полиметаллические порошки.

TECHNOLOGY OF SYNTHESIS OF POLYMETALLIC POWDERS

Bondar A.Yu., Koritsky G.G.

Donetsk National Technical University, Donetsk

Department of Non-Ferrous Metallurgy and Structural Materials

Abstract. In 1956, Kurchatov I.V. The idea of the possibility of synthesis of chemical elements in an electric discharge was put forward, and in 1957 the physicist I.S. The phenomenon of cold nuclear fusion (CNF) was discovered as a result of experiments. The purpose of this article is to analyze the technology of synthesis of polymetallic powders based on EnergoNIVA and EnergoNIVA-2. CNS implemented in the EnergoNIVA facility allows the industry to obtain a promising and inexpensive (virtually endless) source of polymetallic powders.

Keywords: HYAS; EnergoNIVA; dayton technology; polymetallic powders.

В 1956 году Курчатовым И.В. была выдвинута идея о возможности синтеза химических элементов в электрическом разряде, а в 1957 г. физиком Филимоненко И.С. было обнаружено явление холодного ядерного синтеза (ХЯС) в результате экспериментов.

Цель данной работы - анализ энергоустановки «ЭнергоНИВА» с одним реактором и

экспериментов, проводимых на её базе Вачаевым А.В. и Ивановым Н.И., а также Павловой Г.А. на базе установки «ЭнергоНИВА-2» с тремя реакторами.

Технология синтеза. Для начала процесса, на два поперечных электрода, вставленных с обеих сторон реактора, осуществляется подача импульсного электроразряда. В результате инициации импульса между двумя электродами зарождается плазмOID. Реакция холодного ядерного синтеза осуществляется внутри соленоида.

Материал корпуса реактора – диэлектрик (н/р ПВХ), толщина стенок $5 \div 8$ мм. Электроды изготовлены из меди благодаря устойчивости к разрушению при разряде. Для качественного пуска установки используются электроды с углом заточки $< 40^\circ$.

Параметры установки коррелируются $D_{\text{внутр}}$ полых электродов. Зазор между полыми электродами $-1 \div 1,5D$ (при $D < 50$ мм). При уменьшении $t_{\text{ст}}$ стенок полых электродов, плазмOID образуется быстрее и проще. В экспериментах использовались электроды с $t_{\text{ст}} = 1 \div 2$ мм. Ток на полых электродах $I_{\text{стаб}} = 0,1 \div 100$ А ($\sim 20 \div 40$ А). Пусковой $I_{\text{стаб}} - 18 \div 40$ А, во время работы ток меняться в пределах $- 20 \div 120$ А. Стержни для импульсной нагрузки от конденсаторов имеют $D_{\text{ст}} = 3 \div 8$ мм без наконечников и с наконечниками из W, $D = 0,6 \div 1$ мм и длиной $5 \div 10$ мм. Тупоголовые электроды без наконечников заостряются под угол в $30 \div 45^\circ$. При подаче тока плотность импульсного тока составляет 2 кА/мм^2 , время разряда 10 мс. В опытах применялись батареи из конденсаторов ёмкостью $- 200, 500, 700, 2400 \text{ мФ}, 5 \text{ Ф}$. Катушка - соленоид, со средним диаметром $- 1,5D$. Сила тока определяется параметрами рабочей среды и величиной D . Во время проведения экспериментов $I_{\text{солен}}$ менялась в рамках $10 \div 150$ А, [1].

Во время опытов, на вход в первый реактор установки подавались такие рабочие среды как: вода (дистиллят, питьевая, речная воды), водно-минеральные смеси, стоки (промышленные и бытовые), водно-углеродные.

В таблице 1 приведён химический состав вод, использованных в опытах.

Таблица 1 – Химический состав использованных вод

Показатели	Питьевая	Дистиллированная	Речная
Хлориды, мг/л	70	0	25
Сульфаты, мг/л	330	0	18
Железо, мг/л	3,5	0,001	1,4
Марганец, мг/л	1,2	—	1,6
Аммоний, мг/л	1,5	—	0,7

Нитриты, мг/л	ОД	–	0,2
Нитраты, мг/л	1	–	3
Свободный CO_2 , мг/л	13,5	0,1	4
Растворенный O_2 , мг/л	7,5	4	9,5

Оптимальное соотношение - твердое/жидкое 1:10. На рис. 1 приведена схема технологии получения полиметаллических порошков.

На графике рис. 2 показана зависимость выхода твердых продуктов из реакционной зоны агрегата от скорости движения рабочей среды.

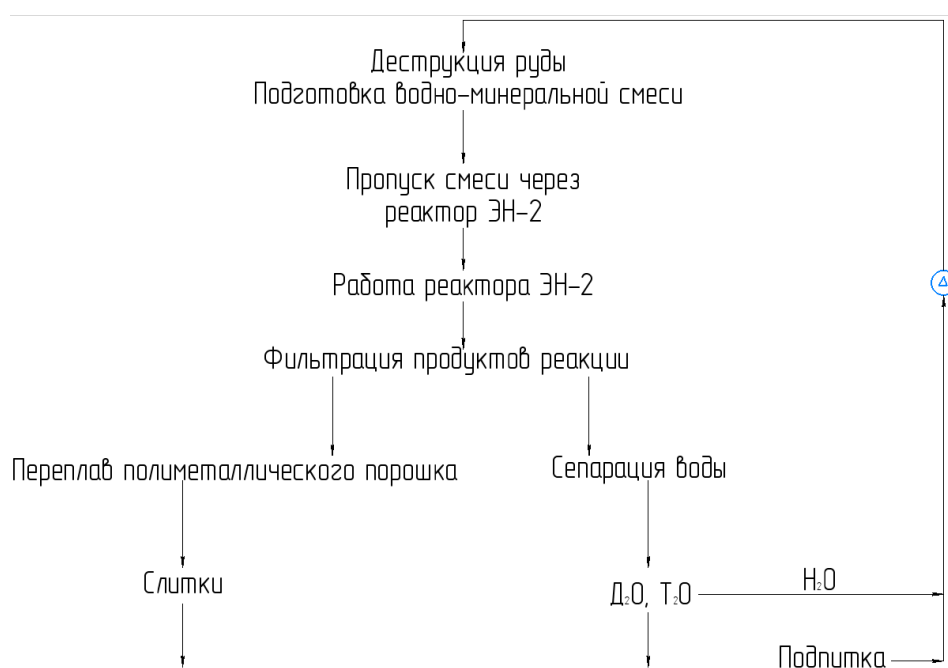


Рис. 1 – Схема технологии получения полиметаллических порошков

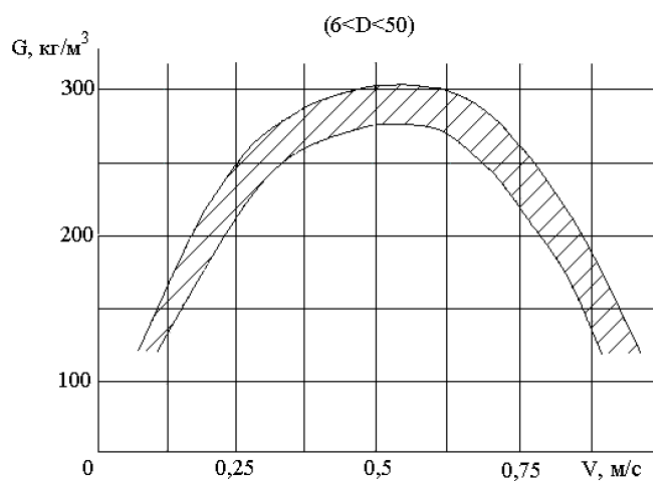


Рис. 2 – Зависимость выхода твёрдых продуктов из реакционной зоны агрегата от скорости движения рабочей среды

При использовании стабилизирующих электродов диаметром $6 \div 50$ мм, выход продуктов синтеза из зоны реакции агрегата зависит от скорости движения рабочей среды.

Опытно установлено, что при увеличении диаметра реактора увеличивается выход твердых материалов. В таблице 2 приведена зависимость, которая получена при выходе твёрдых продуктов при изменении диаметра реактора.

После проведения экспериментов было обнаружено наличие таких химических элементов: Li, Be, B, C, Mg, Si, P, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Sn, Se, Pb, Bi, которые выпадают из раствора в виде тонкодисперсных частиц.

Таблица 2 – Выход твёрдых продуктов в установке «ЭнергоНИВА-2»

D, мм	10	15	20	25	32	40	52
G, г/мин	90	180	270	450	720	1080	1800

При работе аппаратов могут быть использованы два характерных режима: с приоритетом получения новых элементов или получения электрической энергии. Режим получения новых элементов: СВЧ (30-60 ГГц с длиной волны 1-0,5 см) - производство и переработка новых химических элементов, дезактивация химически токсичных и жидких радиоактивных отходов.

Установлено, что максимум выхода твердых продуктов порядка 300 кг/м^3 происходит при скорости воды $0,55 \text{ м/с}$ и зависит от диаметра реактора. Исследования показали, что для получения каждого целевого элемента существует оптимальный ток стабилизации: для $\text{Zn} = 30 \text{ А/мм}^2$, $\text{Al} = 18,5 \text{ А/мм}^2$, $\text{Fe} = 22,2 \text{ А/мм}^2$, $\text{Cu} = 25 \text{ А/мм}^2$.

Экспериментально доказано, что из $1 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$ при скорости течения в $0,55 \text{ м/с}$ можно получить $\rightarrow 214 \text{ кг Fe} + 20 \text{ кг Mn} + \dots + 3,2 \text{ МВт} \cdot \text{ч энергии}$, [1], [2], [3].

Состав порошков, полученных при работе установки «ЭнергоНИВА» представлено на рис. 3.

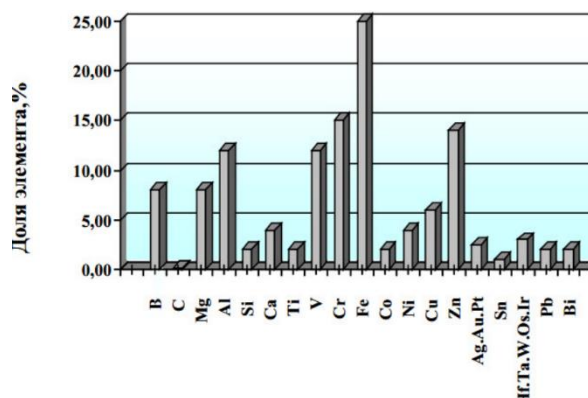


Рис. 3 – Состав порошков, полученных при работе установки «ЭнергоНИВА»

Заключение

- данный процесс можно использовать для утилизации радиоактивных отходов атомной промышленности с целью получения стабильных изотопов металлов с дальнейшей их переработкой для нужд промышленности;
- дейтонная горно-металлургическая технология позволяет получать сырьё из естественных источников (вода, отходы промышленности), расширяя базу сырья металлургии, превращая её из энерго- и ресурсопотребляющей в энерго- и ресурсопроизводящую отрасль;
- отсутствие выбросов отходов в окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Взаимопревращения химических элементов». В.Ф. Балакирев, В.В. Крымский, Б.В. Болотов и др. Под ред. В.Ф. Балакирева. Екатеринбург: УРО РАН, 2003, с.64;
2. LiveJournal [Электронный ресурс]: живой журнал / данные о составителях сайта отсутствуют. Запорожье: Хрищанович Андрей Петрович, 12 сентября 2007 г. URL: <https://ss69100.livejournal.com/4810367.html> (дата обращения 15.10.2021);
3. Шадрин А.А. «Переработка радиоактивных отходов с помощью реактора А.В. Вачаева на базе LENR», Экспертно-исследовательская лаборатория внедрения инновационных проектов АИСТ.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДЬСОДЕРЖАЩЕГО ПРОДУКТА НА УСТАНОВКАХ ТИПА «АУСМЕЛТ»

Бондарь А.Ю., Пасечник С.Ю.

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

кафедра цветной металлургии и конструкционных материалов

bondar_tosha@mail.ru, svarka-ekl@mail.ru

Аннотация. Технология «Аусмелт» - логическое продолжением развития устаревшей технологии плавки в шахтных печах. Целью данной статьи является анализ технологических особенностей получения медьсодержащего продукта (штейна) на установках типа «Аусмелт». В сравнении с классической, в данной технологии имеется ряд преимуществ: использование вертикальной фурмы с целью барботажа расплава и ускорения химических реакций, лёгкость ремонта и замены деталей агрегата (печи); пониженное содержание S_2 в штейне; эффективность утилизации SO_2 в отходящих печных газах; повышенное содержание кислорода в дутье; высокое извлечение меди в штейн (до 90%); пониженное содержание меди в шлаке и пыли (до 2%).

Ключевые слова: TSL; Аусмелт; вертикальная погружная фурма; штейн; гарнисаж; технологический процесс.

TECHNOLOGICAL FEATURES OF OBTAINING A COPPER-CONTAINING PRODUCT ON THE "AUSMELT" TYPE EQUIPMENT

Bondar A.Yu., Pasechnik S.Yu.

Donetsk National Technical University, Donetsk

Department of Non-Ferrous Metallurgy and Structural Materials

Abstract. The 'Ausmelt' technology is a logical continuation of the development of the outdated shaft furnace smelting technology. The purpose of this article is to analyze the technological features of obtaining a copper-containing product (matte) at installations of the 'Ausmelt' type. In comparison with the classical technology, this technology has a number of advantages: the use of a vertical tuyere for the purpose of bubbling the melt and accelerating chemical reactions, ease of repair and replacement of unit (furnace) parts; Reduced S_2 content in the matte; Efficiency of SO_2 utilization in flue gases; Increased oxygen content in the blast; High extraction of copper into matte (up to 90%); Reduced copper content in slag and dust (up to 2%).

Keywords: TSL; Ausmelt; vertical submerged lance; matte; skull; technological process.

Технология «Аусмелт» используется для переработки медьсодержащего сырья и основана на автогенных реакциях. Процессы в данной технологии происходят в шлаке. Барботаж в рабочем пространстве печи обеспечивает быстрое прохождение химических реакций за небольшой период времени выдержки.

Ядро технологии - фурмы «Айзасмелт» или «Сиросмелт», [1]. Конструкция печи. Печью является огнеупорный вертикальный цилиндр, оснащённый сливными сифонами, фурмой, системой контроля и газоотводом. Общий вид печи представлен на рис. 1.



Рис. 1 – Общий вид печного агрегата Ausmelt

Конструктивные параметры агрегата: h - 12-13м, $\varnothing$ - 4м, l - 13,6 м, внутренняя футеровка - хромомагнезитовый кирпич, $S_{\text{фут}}$ - 0,55м. Охлаждение кожуха печи производится технологической водой.

Схема печи представлена на рис. 2.

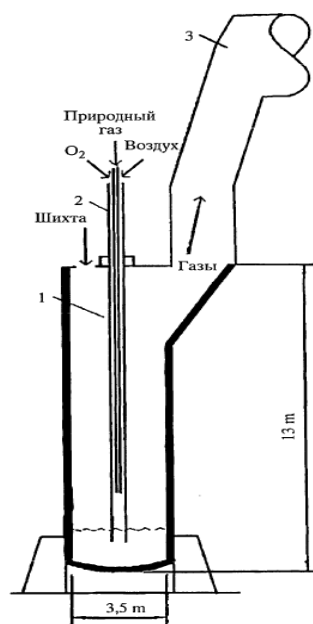


Рис. 2 – Схема печи: 1 – печь; 2 – фурма; 3 – газоотвод

Погружная фурма. В данном процессе применяются фурмы «Айзасмелт» и «Сиросмелт».

«Айзасмелт» - основной элемент технологии – фурма подвижная вертикальная, состоящая из нескольких вставленных стальных труб с уменьшающимся диаметром вставленных друг в друга, выполненных из нержавеющей стали. Окисление топлива в смеси с обогащенным до 90% O_2 воздухом происходит в нижней части фурмы в камере сгорания. Длина защиты фурмы выбирается так, чтобы он всё время был над поверхностью шлакового расплава (~1м) и обеспечивал защиту от разрушения стальных конструкций горелки. Заглубление в шлак составляет ~ 20см. Фурма подлежит ремонту, при разрушении 1м её концевой части, [2, стр.275].

Исходные технологические показатели расчёты процесса «Аусмелт» по плавке медьсодержащего сырья на одну тонну штейна. Принципиальная технологическая схема выплавки штейна способом «Аусмелт» показана на рис. 3.

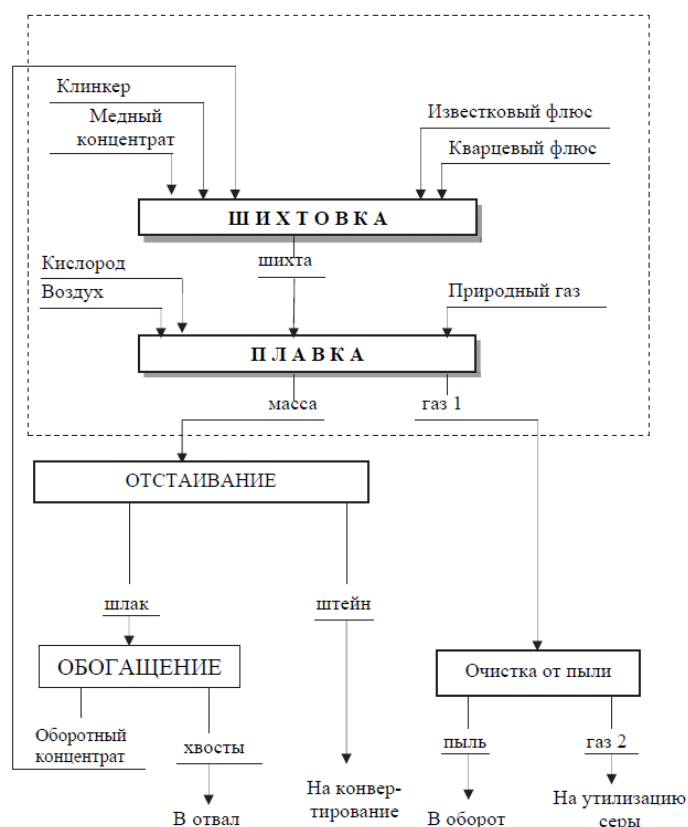


Рис. 3 – Принципиальная технологическая схема выплавки штейна

Химический состав исходной шихты на 100 кг показан в таблице 1.

Влажность шихты – около 8%.

Продувка – содержание в дутье кислорода от 45% до 90%. Давление около 200 кПа. Объем воздуха на тонну концентрата – 90 м³, [3, стр. 42].

Расход дутья – до 1800м³/ч природного газа в смеси с обогащенным воздухом. Во избежание чрезмерного разбрызгивания расплавленной массы рекомендуется не превышать расход дутья свыше 1200м³/ч на 1 тонну медного концентрата. Объем природного газа на 1 тонну медного концентрата, м³: 5,50.

Таблица 1 – Химический состав исходной шихты

Химические элементы	Cu	Fe	Zn	S	SiO ₂	CaO	H ₂ O	C
Медный концентрат, мас. %	14,84	25,76	4,5	32,72	9,6	1,15	6,5	-
Клинкер, мас. %	4,36	36,8	2,5	4,7	12,2	4,8	11,3	12
Известняковый флюс, мас. %	-	Fe ₂ O ₃	-	-	1,49	CaCO ₃	4	-
		4,2				84,88		

Кварцевый флюс, мас. %	-	6,5	-	0,3	67,3	7	4,3	-

Компоненты штейна: Cu_2S , FeS , ZnS , Fe_3O_4 . Рациональный состав выхода годного продукта – штейна, показан в таблице 2.

Таблица 2 – Рациональный состав штейна

	Элементы											Всего	
	Cu	Fe	Zn	Si	Ca	S	O	C	H	N	Проч.		
Атомная масса	63,55	55,85	65,38	28,09	40,08	32,06	16,00	12,01	1,00	14,01		%	кг
Соединения	Рациональный состав, %												
Cu_2S	30,00					7,57						37,57	21,71
FeS		29,00				16,64						45,64	26,38
ZnS			1,20			0,59						1,79	1,03
Fe_3O_4		8,67					3,31					11,98	6,93
Прочие											3,02	3,02	1,75
Итого, %	30,00	37,67	1,20			24,80	3,31				3,02	100,00	
Итого, кг	17,34	21,77	0,69			14,33	1,91				1,75		57,80
Cu_2S	30,00					7,57						37,57	21,71
FeS		29,00				16,64						45,64	26,38
ZnS			1,20			0,59						1,79	1,03

Рациональный состав шлака показан в таблице 3.

Таблица 3 – Рациональный состав шлака

Соединения	Рациональный состав шлака, кг												
2FeO·SiO ₂		19,14		4,81			10,97					34,92	62,50
ZnO			2,57				0,63					3,20	5,73
2CaO·SiO ₂				0,84	2,40		1,92					5,16	9,24
SiO ₂				3,51			4,00					7,51	13,45
Прочие											5,08	5,08	9,08
Итого, кг	0,00	19,14	2,57	9,17	2,40	0,00	17,51	0,00	0,00	0,00	5,08	55,87	
Итого, %	0,00	34,25	4,61	16,41	4,30	0,00	31,35				9,08		100,00

Основные технологические показатели процесса. 1) извлечение меди в штейн, %:

$$17,34 \cdot 100/17,88 = 97,00 ,$$

где 17,34 – масса меди в штейне, кг;

17,88 – масса меди в шихте (концентрат и клинкер), кг;

2) выход шлака от медного концентрата, %:

$$55,87 \cdot 100/100 = 55,87,$$

3) расход на 1 т медного концентрата:

– кварцевый флюс, т $4,58/100 = 0,046$,

– известковый флюс, т $2,48/100 = 0,025$,

– технический кислород, м^3 $13,61 \cdot 1000/100 = 136,1$,

– отходящий газ, нм^3 $116,9 \cdot 1000/100,00 = 1169$;

4) степень десульфуризации шихты при плавке, %:

$$19,79 \cdot 100/35,17 = 56,28,$$

где 19,79 – масса серы в отходящем газе, кг;

35, 17 – масса серы в шихте, кг, [3, стр.54].

Таблица 4 – Сравнительный анализ технологичности процесса «Аусмелт» относительно классической плавки в шахтной печи

Аусмелт	Шахтная печь
Шихта, крупность и состав	
Можно плавить кусковой материал крупностью до 25мм, пылевидные материалы во взвешенном состоянии при вдувании через фурму Шихта: клинкер, оборотный клинкер, медный концентрат Флюсы – кварц, кварцит и (-или) известняк	Можно плавить только кусковой материал крупностью 20-100мм Шихта: медный концентрат, агломерат, присутствует кокс (~12%) Флюсы – кварц, кварцит и (-или) известняк
Продувка	
Возможен барботаж для ускорения химических процессов Содержание в дутье кислорода от 45% до 90% Объём дутья до 1800м ³ /ч природного газа в смеси с обогащенным воздухом	Барботаж отсутствует Содержание в дутье кислорода до 45%
Температура отходящих газов, °С	
1200...1300	1400...1600
Извлечение меди в штейн, %	
95	90...94
Содержание меди в штейне, %	
58...62	до 50
Содержание SO ₂ в газах, %	
9...15	28...32
Выход годного (штейн), %	
60% Cu, 10% Fe, 22% S, 3,6% Pb, 2,6% Zn	15...50% Cu
Шлак	

Содержание меди 0,5...0,7%	Содержание меди 0,5...1%

Сравнительная характеристика процесса «Аусмелт» относительно классической плавки в шахтной печи медьсодержащего сырья на штейн. Сравнительный анализ технологичности процесса «Аусмелт» относительно классической плавки в шахтной печи приведён в таблице 4.

Заключение. В сравнении с классической, в данной технологии имеется ряд преимуществ:

- фурма вертикальная подвижная, которая может использоваться с целью барботажа расплава и ускорения химических реакций,
- лёгкость ремонта и замены деталей агрегата (печи);
- пониженное содержание S_2 в штейне;
- эффективность утилизации SO_2 в отходящих печных газах;
- повышенное содержание кислорода в дутье;
- высокое извлечение меди в штейн (до 90%);
- пониженное содержание меди в шлаке и пыли (до 2%).
- экологическая безопасность, так как работа производится при разряжении, что предотвращает выброс SO_2 в цех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Studfiles [Электронный ресурс] / Файловый архив студентов, данные о составителях сайта отсутствуют. Москва: Ломоносова Наталья Владимировна, 2011г. URL: <https://studfile.net/preview/9187008/page:4/#7> (дата обращения: 20.10.2021);
2. «Печи цветной металлургии», (конструкции, исследование, теория, расчёт), Д. А. Диомидовский, профессор, д.т.н., М. 1956. Проверено в 2006г., 454с.;
3. «Расчёты металлургических процессов производства меди»: учебное пособие / Е.И. Елисеев, А.И. Вольхин, Г.Г. Михайлов, Б.Н. Смирнов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – 221 с.;

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ С ДЕФЕКТОМ «РОМБИЧНОСТЬ» НА СЛОИСТЫХ МОДЕЛЯХ

Жамолиддинов З.А., Абдусамадов С.Э.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
s160609@edu.misis.ru*

Аннотация. *Представлены результаты экспериментального исследования по определению влияния величины относительного обжатия и начальной ромбичности на изменение величины ромбичности в ходе прокатки с использованием слоистых моделей. По результатам проведенного исследования были рекомендованы режимы обжатий непрерывнолитых заготовок с дефектом формы «ромбичность» в зависимости от ее начальной величины.*

Ключевые слова: ромбичность; непрерывнолитая заготовка; дефекты; прокатный стан; обжатие; эксперимент; слоистые модели.

INVESTIGATION OF THE ROLLING PROCESS OF A CONTINUOUSLY CAST BILLET WITH A "RHOMBOIDITY" DEFECT WITH LAYERED MODELS

Zhamoliddinov Z.A., Abdusamadov S.E.

*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*

Abstract. *The results of an experimental study to determine the effect of relative deformation and initial rhomboidity on the change in rhomboidity during rolling using layered models are presented. According to the results of the study, the modes of deformation of continuously cast billets with a "rhomboidity" shape defect were recommended, depending on its initial value.*

Keywords: rhomboidity; continuous cast billet; defects; rolling mill; deformation; experiment; layered models.

Использование непрерывнолитой заготовки или заготовки полученной из непрерывнолитого металла требует дополнительного внимания к процессам черновой прокатки, оказывающей влияние на геометрические параметры и механические свойства

выпускаемого проката [1-3]. Поскольку в ней часто встречается отклонение формы непрерывнолитой заготовки от исходной квадратной (эффект ромбичности) что приводит к значительным трудностям при ее прокатке в обжимных клетях, сваливанию раската в калибре и отклонению геометрических параметров подката после черновой группы. В свою очередь, это сопряжено с нестабильной прокаткой и большим износом валков в чистовых клетях [4-7]. Особенно данное явление может наблюдаться в обжимных клетях «трио» что связано с разным воздействием на раскат со стороны верхнего и нижнего валков [8]. Поэтому исследования, направленные на изучение особенностей деформирования непрерывнолитой заготовки с дефектом «ромбичность» в первых проходах обжимной клетки (непрерывной группы клетей) являются актуальными.

Для подобных исследований можно использовать как компьютерное моделирование [9], так и разнообразные экспериментальные методики [10-12]. Методики исследования с использованием слоистых моделей достаточно широко применяются для исследования процессов прокатки. Данные методики позволяют не только получить представление об особенностях деформации образцов и наглядно показать характер течения металла, но и получить достаточно достоверную информацию о напряженно-деформированном состоянии [13-16].

В связи с этим, целью данной работы являлось экспериментальное исследование процесса прокатки непрерывнолитой заготовки с дефектом «ромбичность» в первых проходах непрерывной группы клетей с использованием слоистых моделей.

Методика проведения исследования

Для изучения особенностей деформации ромбовидной непрерывнолитой заготовки на гладкой бочке был реализован планируемый эксперимент с использованием физических моделей. В качестве управляющих факторов, при планировании и проведении эксперимента были выбраны следующие величины: ε - относительное обжатие и K_p - коэффициент ромбичности.

Интервал варьирования факторов выбирался исходя из технических условий прокатки непрерывно литой заготовки на стане 350 АО "Оскольский электрометаллургический завод им. А.А. Угарова". Расчётные уровни и интервалы варьирования факторов находятся в таблице 1.

Таблица 1 – План эксперимента

Фактор	Интервалы варьирования	Уровень		
		Верхний	Основной	Нижний
ε , %	7	28	21	14
K_p	0,04	1,10	1,06	1,02

Для проведения эксперимента были изготовлены пластилиновые образцы, моделирующие прокатку непрерывнолитой заготовки сечением 170х170 мм с начальной ромбичностью. Масштаб моделирования составил 1:6.

До проведения исследования процесса прокатки были получены данные по сопротивлению деформации разных цветов цветного пластилина чтобы правильно распределить их по сечению образца – более твердые снаружи, более мягкие внутри.

Сначала пластилин раскатывали до толщины 5,6 мм, затем соединили образцы с помощью машинного масла в образец заданного размера. Далее образцы охлаждались в течение суток. Изготовленные образцы прокатывались на лабораторном стане 5Л.00.00.00 в гладких валках.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим влияние относительного обжатия в ходе нескольких проходов с кантовкой образца после каждого прохода на 90 градусов как это происходит на реальном прокатном стане. Фотографии образцов после четвертого прохода приведены на рис. 1.

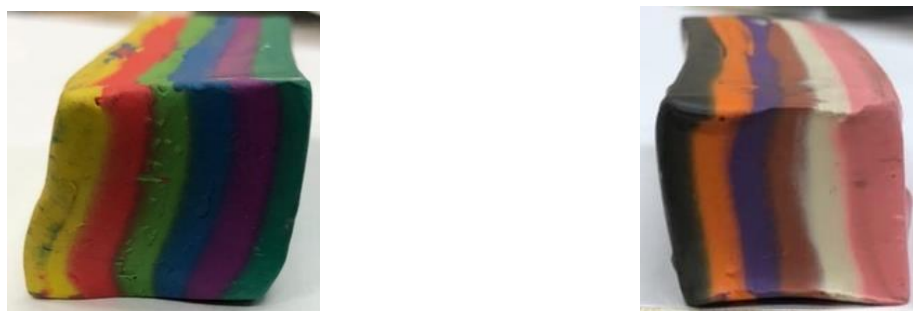


Рис. 1 – Образцы после четвертого прохода

По результатам эксперимента построены графики для разных величин ромбичности (рисунки 2-4).

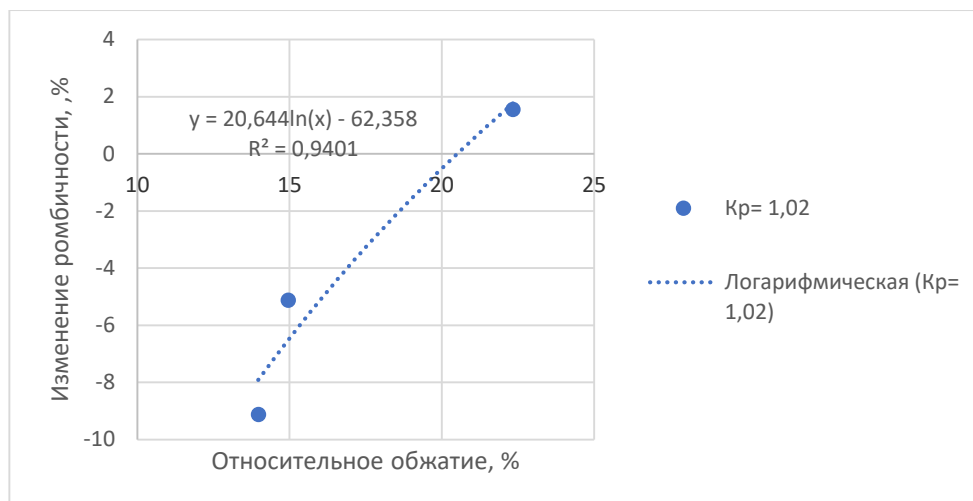


Рис. 2 – Зависимость изменения ромбичности от относительного обжатия при степени ромбичности $K_r=1,02$

По данным рис. 2 можно сделать выводы о том, что при минимальном значении коэффициента ромбичности ($K_r=1,02$) с увеличением относительного обжатия возможно уменьшение ромбичности при высоких значениях относительного обжатия. Таким образом заготовки с малой степенью ромбичности следует прокатывать при максимально допустимом обжатии.

Зависимость изменения ромбичности от относительного обжатия при степени ромбичности $K_r=1,06$ приведена на рис. 3. Из рисунка видно, что с повышением относительного обжатия ромбичность будет возрастать. Это объясняется тем, что при такой степени ромбичности раскат будет терять устойчивость и его форма будет искажаться, а разность диагоналей увеличиваться. Таким образом заготовки со средней степенью ромбичности следует прокатывать при минимальном обжатии.

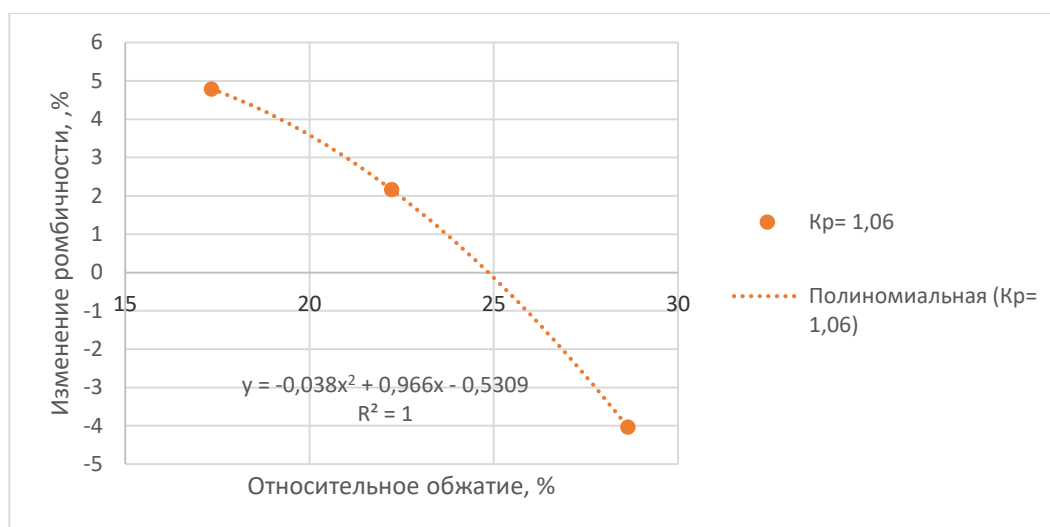


Рис. 3 – Зависимости изменения ромбичности от относительного обжатия при степени ромбичности $K_r=1,06$

Зависимость изменения ромбичности от относительного обжатия при степени ромбичности $K_r=1,10$ приведена на рис. 4. Из рисунка видно, что с повышением относительного обжатия ромбичность будет уменьшаться. Это объясняется тем, что при такой степени ромбичности раскат хоть и будет терять устойчивость, а его форма будет искажаться и разность диагоналей увеличиваться, но при знакопеременной деформации (то с одной стороны, то с другой) углы раската будут сминаться. Однако возможность скручивания раската приводит к необходимости рекомендовать заготовки с высокой степенью ромбичности следует прокатывать при средней величине относительного обжатия.

Вывод

Проведенные экспериментальные исследования по влиянию величины относительного обжатия и начальной ромбичности на изменения величины ромбичности в ходе прокатки с использованием слоистых моделей показали наличие связи между вышеуказанными величинами. Анализ данных дал возможность рекомендовать режимы обжатий непрерывнолитых заготовок с исходной ромбичностью в зависимости от ее величины.

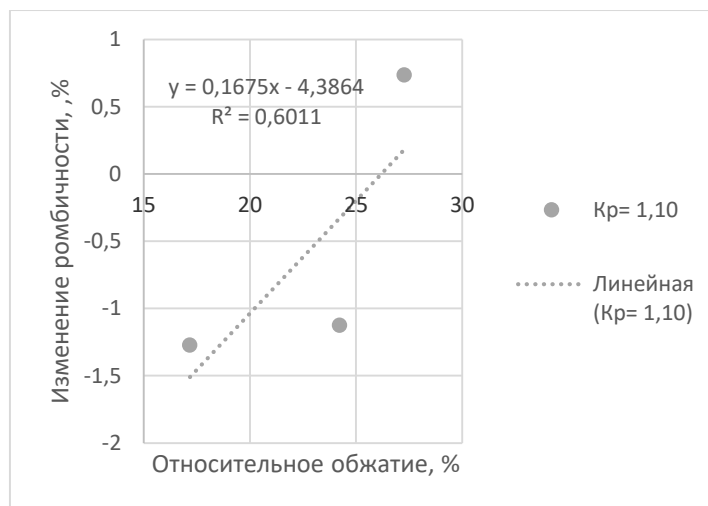


Рис. 4 – Зависимости изменения ромбичности от относительного обжатия при степени ромбичности $K_p=1,10$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луценко А.Н., Мониц В.А., Гарбер Э.А. и др. Режимы деформации непрерывнолитой заготовки при производстве сортового проката из нерядовых сталей // Черная металлургия. - 2004- №2 - С. 59-62
2. Сычков А.Б., Жигарев М.А., Перчаткин А.В. и др. Трансформация дефектов непрерывнолитой заготовки в поверхностные дефекты проката // Металлург. - 1996 - №2 - С. 60-64.
3. Смирнов Е.Н., Скляр В.А., Белевитин В.А., Смирнов А.Н., Пивоваров Р.Е. Совершенствование деформационного режима прокатки сортовых профилей из конструкционных марок стали в условиях непрерывного стана // Производство проката. - 2018. - № 8. - С. 19-25.
4. Платов С.И. Аналитические исследования процессов формоизменения при бескалибровой прокатке. Сообщение 1 // Производство проката - 2005 - №5. - с. 19-23
5. Платов С.И., Аналитические исследования процессов формоизменения при бескалибровой прокатке. Сообщение 2 // Производство проката - 2005 - №6. - с. 18-21.
6. Смирнов Е.Н., Скляр В.А., Смирнов О.Е., Белевитин В.А., Пивоваров Р.Е. Исследование поведения дефектов макроструктуры, предварительно деформированной в линии МНЛЗ непрерывнолитой сортовой заготовки при прокатке // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2018. - Т. 61. - № 5. - С. 399-406.
7. Скляр В.А., Самойлова Т.Д. Деформационное состояние в процессе прокатки квадратного подката в овальном калибре в клетях черновой группы непрерывного сортового стана // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство

материалы тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Том I, 23-25 ноября 2016 г. - С. 124-131.

8. Смирнов Е.Н., Смирнов А.Н., Склад В.А. и др. Оценка технологической целесообразности снижения температуры начала прокатки в условиях стана с обжимными клетями трио // Сталь. 2018. № 6. С. 21 - 26.

9. Белевитин, В.А. Моделирование пластического формоизменения металлических заготовок: коллективная монография / В.А. Белевитин, А.В. Суворов, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов // Итоги науки. Избранные труды Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий. Том 1. - М.: РАН, 2014. - С. 175-199.

10. Беляковский М.А., Бровман М.Я. Применение тензометрии в прокатке. М.: Металлургия, 1965 – 145с.

11. Дель Г.Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости. М., "Машиностроение", 1971, 198 с.

12. Минаев А.А. Скорость течения металла при прокатке овальных заготовок с неравномерным распределением температуры по сечению /А. А. Минаев, В. А. Белевитин, Е. Н. Смирнов // Известия вузов. Чёрная металлургия. - 1993. - №11-12. - С. 22-25.

13. Дель Г.Д., Новиков Н.А. Метод делительных сеток – М.: Машиностроение, 1979-143с.

14. Экспериментальные методы механики деформируемых твердых тел (технологические задачи обработки давлением). В.К. Воронцов, Л.И. Полухин, В.А. Беливитин, В.В. Бринза – М.Металлургия, 1990 – 480с.

15. Кандауров Л.Е., Никифоров Б.А. и др. Бескалибровая прокатка сортовых профилей - Магнитогорск: МГТУ - 1998. - 128 с.

16. Жучков С.М., Стеблов А.Б. Применение косвенных методов контроля качества непрерывнолитых сортовых заготовок // Сталь. - 2002. - №10 - С.61-63.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗОВ У ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА В НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Королькова Л.Н., Велеменчук С.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС», Россия, г. Старый Оскол
Губкинский филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»,
Россия, г. Губкин
klnchayka@mail.ru, +7(915)5692604
velemenchyk.sn@mail.ru*

Аннотация. В статье рассмотрена возможность использования математического моделирования для определения температуры греющего газа в печи для термообработки проката, с целью получения более равномерного нагрева обрабатываемого материала.

Ключевые слова: теплообмен; струя; термообработка; моделирование.

APPLICATION OF MODELING TO CALCULATE THE TEMPERATURE OF GASES AT THE METAL SURFACE IN A HEATING FURNACE

Korolkova L.N., Velemenchuk S.N.

*Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS» Russia, Stary Oskol
Gubkin branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological
Institute "MISIS", Russia, Gubkin
klnchayka@mail.ru, +7(915)5692604
velemenchyk.sn@mail.ru*

Abstract. The article considers the possibility of using mathematical modeling to determine the temperature of the heating gas in the furnace for heat treatment of rolled products, in order to obtain a more uniform heating of the processed material.

Keywords: heat transfer; jet; heat treatment; modeling.

Для изменения внутренней структуры изделия из металла необходимо проводить их термическую обработку. Термическая обработка предполагает воздействие тепловой энергии на стальное изделие в течение некоторого времени.

На ряде металлургических предприятий для термообработки проката используют нагревательные печи, в которых нагрев печи и материала осуществляется в результате подачи

горячих продуктов сгорания, получаемых при сжигании топлива в топочных камерах [1]. При этом нагрев горячего проката осуществляется сверху. Подача греющих газов осуществляется через каналы, располагающиеся в своде печи.

Важным моментом при термообработке проката является обеспечение практически равномерного прогрева обрабатываемого материала по всему объему. Теплообмен при нагреве описывается уравнением теплового баланса [2]:

$$Q = \lambda(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (1)$$

где Q – тепловой поток на нагреваемой поверхности;

$\lambda(T)$ – теплопроводность нагреваемого материала;

T – температура;

x – геометрическая координата в направлении центра заготовки.

Из уравнения (1) видно, что равномерность прогрева обрабатываемого материала зависит от теплового потока, поступающего на его поверхность. Величина теплового потока зависит от температуры греющего газа у поверхности нагрева.

Для исследования влияния геометрии канала на температуру газа у нагреваемой поверхности можно использовать математическое моделирование. В математической модели печь представляется в виде последовательности объемных участков прямоугольного сечения. Каждый участок рассматривается как замкнутая излучающая система, ограниченная фиктивными зеркальными плоскостями.

При расчете распределения потоков дымовых газов можно использовать результаты работы [3]. Для построения модели необходимо задаться размером канала, через который дымовые газы поступают в пространство печи, их температурой на входе в пространство печи.

Для упрощения расчетов принимается случай круглой затопленной струи (рис. 1.). Опираясь на методику, изложенную в [3], производится расчет параметров струи и температурного поля в пространстве печи.

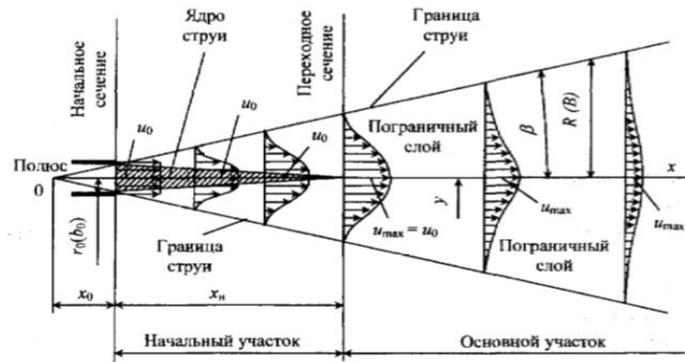


Рис. 1 – Схема круглой затопленной струи.

По данной методике определяются следующие параметры:

- скорость на оси основного участка струи

$$u_{max} = \frac{0,96 \cdot u_0}{\frac{a \cdot x'}{r_0} + 0,29}; \quad (2)$$

- скорости в произвольных точках струи определяются по закону Шлихтинга:

$$u = u_{max} \cdot (1 - \eta^{1,5})^2; \quad (3)$$

- безразмерная температура в произвольной точке основного участка сечения затопленной струи:

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_m} = \sqrt{\frac{u}{u_{max}}}; \quad (4)$$

- падение температуры вдоль оси турбулентной струи

$$\frac{\Delta T_m}{\Delta T_0} = \frac{0,7}{\frac{a \cdot S}{r_0} + 0,29}, \quad (5)$$

где u_0 – начальная скорость газа;

a – коэффициент турбулентности структуры;

r_0 – начальный радиус струи;

η – безразмерная радиальная координата точки струи

$$\eta = \frac{y}{r_x}; \quad (6)$$

y – радиальная координата точки струи;

r_x – радиус внешней границы струи;

ΔT_m – изменение температуры по оси струи;

ΔT_0 – изменение температуры в начальном сечении.

При моделировании рассматривались два варианта организации подачи греющих газов в печь (рис. 2).

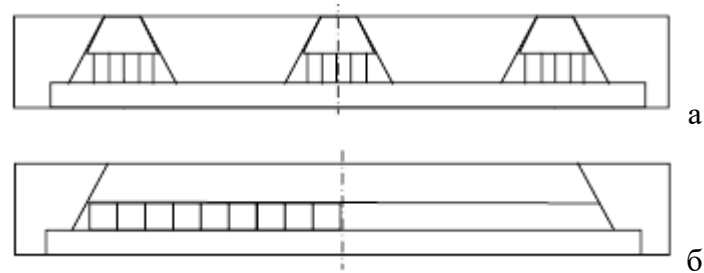


Рис. 2 – варианты подачи греющих газов в рабочее пространство печи:

а – через отдельные каналы; б – через объединенный канал.

При проведении моделирования рассматривалось симметричное распределение параметров по сечению струи, поэтому производился расчет по половине струи. По результатам расчетов построены графики распределения температуры греющих газов у поверхности нагреваемого материала (рис. 3) и температуры поверхности металла (рис. 4).

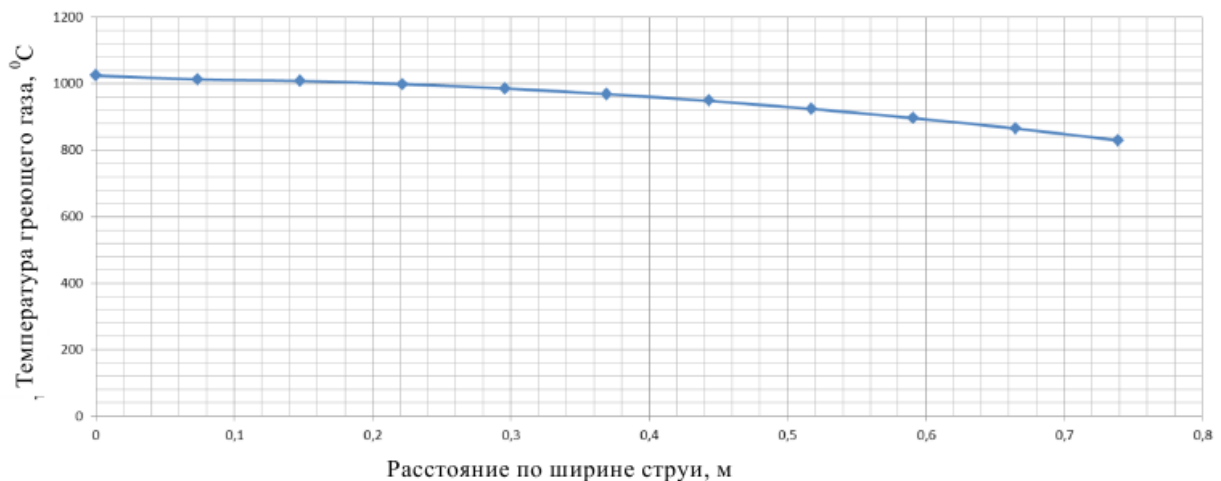


Рис. 3 – Распределение температуры дымовых газов по сечению струи у поверхности нагреваемого материала.



Рис. 4 – Изменение температуры поверхности металла.

Из графика на рис. 3 видно, что к границам струи температура снижается. При подаче греющего газа через отдельные каналы на поверхности нагреваемого материала будут наблюдаться зоны с низкой температурой газа не только возле стенки печи, но и в зонах, располагающихся между каналами для подачи газа. Нагрев поверхности материала будет не равномерным, что вызовет неравномерный прогрев и внутренних слоев.

Подача дымовых газов в рабочее пространство печи через систему струй из объединенного канала позволяет получить практически постоянную температуру для всех зон на поверхности нагреваемого металла, что способствует равномерному нагреву его поверхности (рис. 4) и, соответственно, равномерному прогреву по толщине материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расчет нагревательных и термических печей: Справочное издание / Тымчак В.М., Гусовский В.Л. – М: Металлургия, 1983, 480 с.
2. Теплотехнические расчеты при автоматизированном проектировании нагревательных и термических печей / В.Л. Гусовский, А.Е. Лифшиц, В.Г. Масалович, А.Б. Усачев – М: Черметинформация, 1999. – 185 с.
3. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович / Репринтное воспроизведение издания 1960 г. — М. : ЭКОЛИТ, 2011. — 720 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЫЛИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Кочергина И.Н., Кочергин Н.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
kochergina-irina@yandex.ru*

Аннотация. Рассматривается проблема обеспечения необходимого уровня экологической безопасности на предприятиях, осуществляющих свою деятельность в металлургическом секторе. Проводится анализ современных технологий переработки металлургических отходов в виде плавильной пыли. Описываются возможности максимального сбережения невозобновляемых ресурсов, как за счёт более полного и комплексного извлечения из плавильной пыли ценных компонентов, так и за счёт вовлечения в хозяйственный оборот накопленных отходов производства.

Ключевые слова: экологическая безопасность; отходы металлургического производства; плавильная пыль; извлечение цинка; брикетирование; железоксидные пигменты.

PROSPECTS FOR THE USE OF STEELMAKING DUST

Kochergina I.N., Kochergin N.V.

*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*

Abstract. The problem of ensuring the necessary level of environmental safety at enterprises operating in the metallurgical sector is considered. The analysis of modern technologies for processing metallurgical waste in the form of melting dust is carried out. The possibilities of maximum conservation of non-renewable resources are described, both due to a more complete and comprehensive extraction of valuable components from the melting dust, and due to the involvement of accumulated production waste in the economic turnover.

Keywords: environmental safety; metallurgical waste; melting dust; zinc extraction; briquetting; iron oxide pigments.

Одной из важных проблем территорий, на которых осуществляют свою хозяйственную деятельность предприятия металлургического сектора, являются выбросы в воздушную среду значительного количества высокодисперсной плавильной пыли, образующейся в процессе выплавки стали и сплавов и при других операциях с расплавленным металлом, а также вопросы утилизации уловленной пыли используемыми пылегазоочистными установками.

Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года [2] в совокупности с Принципами устойчивого развития металлургической отрасли гласят о том, что задача снижения образования отходов производства и удельных выбросов вредных веществ в атмосферный воздух является одной из наиболее приоритетных, так же как и задача эффективной переработки отходов производства с применением современных экологически безопасных технологий.

Изучение вопросов образования плавильной пыли, её свойств и возможностей утилизации представляет несомненный интерес с точки зрения снижения негативного воздействия на окружающую среду, а также увеличения ресурсной базы отрасли в результате вовлечения в хозяйственный оборот накопленных, в последствие переработанных, отходов производства. Тем не менее, практика показывает, что основная часть плавильной пыли не перерабатывается, а идет в хранилища и шламонакопители. Большинство предприятий просто складируют эту пыль, что приводит к проблемам экологического характера. Отвалы плавильной пыли занимают большие площади. К тому же, выветривание отвалов разносит пыль по окружающей территории, загрязняя атмосферный воздух. В период дождей и талой воды весной пыль попадает в почвенный покров и вблизи находящиеся водоемы, а растворимые компоненты проникают в грунтовые воды. Такие последствия приводят к нарушению экологической безопасности районов, на территориях которых расположены отвалы отходов металлургического производства. По этой причине ликвидация отвалов сегодня стала одной из самых насущных задач охраны окружающей среды [1].

Описывая детально, что собой представляет плавильная пыль, можно сказать, что она имеет характерные особенности, такие как высокая дисперсность и состав, основные компоненты которого – оксиды тяжелых металлов. Такая характеристика превращает плавильную пыль в высокотоксичное вещество, содержащее многократно превышающую предельно допустимую концентрацию чрезвычайно токсичных и хорошо растворимых в воде цианидов (соли синильной кислоты), радонидов и другие вредные для всего живого соединения и элементы. Более того, мелкие частицы пыли имеют свойство проникать в организм человека посредством органов дыхания, где они поражают в первую очередь именно

их, вызывая заболевания бронхов и легких. Поэтому захоронение таких отходов требует специальной, дорогостоящей дезактивации, что не всегда рентабельно для предприятия.

Помимо опасного влияния на живые организмы существует ещё одна немало важная проблема, которая связана с потерей металла в виде пыли, с её уносом из агрегата, что в свою очередь снижает выход годного продукта на $2\div 5$ %. Для металлургического предприятия с годовым выпуском стали в 1 млн. тонн показатель образования пыли может достигать 32 тыс. тонн в год [3].

Известно, что содержание соединений железа в виде оксидов в плавильной пыли может достигать 60 % от общей массы. Следовательно, данный вид отходов можно считать вторичным техногенным сырьем, из которого не сложными способами можно извлечь необходимые оксиды железа. С пылью газоочисток электросталеплавильных цехов, кроме железа, теряется также целый ряд других ценных металлов и легирующий элементов, таких как Zn, Pb, Cd, Cr, Nb и др. Повторное применение отходов по прямому назначению (рециклинг) может предотвратить утилизацию потенциально полезных компонентов и сократить потребление первичного сырья, тем самым снизив загрязнение воздуха, загрязнение воды и почвы (от захоронения). К тому же, такой подход приводит к рациональному использованию природных ресурсов.

По данным обзора научно-технической литературы основное внимание привлекают уже известные виды использования плавильной пыли.

Основной из них осуществляется путем повторного применения плавильной пыли в производственном цикле.

В настоящее время разработано значительное количество различных технологий по переработке техногенного сырья сталеплавильного производства. Но не все предложенные способы внедрены в производство. На выбор технологии по переработке техногенного сырья, подходящей для определённого металлургического предприятия, влияют как экономические, так и экологические показатели.

Выбирая подходящую технологию, следует учесть тот факт, что в состав плавильной пыли входит цинк, содержание которого наблюдается до 2,5 %. Возврат в производственный доменный цикл плавильной пыли с содержанием цинка выше $0,3\div 0,5$ % не возможен, так как это приведёт к нарушению технологического цикла и быстрому износу оборудования.

Существующие методы переработки плавильной пыли с целью извлечения цинка из её состава, можно разделить на основные виды технологий: гравитационные (мокрые), гидрометаллургические, пирометаллургические и металлургические.

Гравитационный (мокрый) метод, характеризующийся обогащением рудных материалов методом удаления пустой породы и примесей, оказался малоэффективным по

причине присутствия в них цинка в виде трудновосстанавливаемых соединений: ферритов, силикатов, сульфатов и сульфидов, что делает данный метод сложным и дорогостоящим.

Гидрометаллургический метод, основанный на преобразовании цинка и других примесей в раствор нагретой до 600÷900 °С кислоты, щелочей и подкисленных солей, также не нашёл широкой популярности. Такой метод обязывает предприятие приобретать специальное дорогостоящее кислотоупорное оборудование. К тому же, образующиеся при обогащении по данному методу отходы являются чрезвычайно опасными для окружающей среды и также предполагают большие затраты на улавливание и нейтрализацию.

Пирометаллургические методы получили наибольшее применение в практике. В основе этих методов лежит высокотемпературное восстановление и перевод летучих металлов в газовую фазу, позволяющее удалять цинк из сырья благодаря высокому давлению его паров при температуре процесса, в то время как другие металлы, имеющие низкое давление паров, например, железо, остаются в остатке. Пирометаллургические методы нашли свое применение в таких процессах как: «Waelz - процесс», процессы «FASTMET/FASTMELT», процесс «Primus», процесс «OXYCUP». В таблице 1 представлена сравнительная характеристика процессов переработки сталеплавильной пыли (Waelz, FASTMET/ FASTMELT, Primus, OXYCUP).

Таблица 1 – Характеристика процессов переработки сталеплавильной пыли [4,5,6]

Параметры	Waelz - процесс	Вращающаяся подовая печь	PRIMUS	OXYCUP
Содержание цинка в продукте, %	55–60	50–65	52–60	30–45
Производительность, тыс. т перерабатываемого материала / год	25–200	20–300	60–100	250–500
Шихта, кг/т перерабатываемого материала				
Коксовая мелочь	200–300	180–250	–	–
Кокс	–	–	–	170
Присадки	20–200	50	50	200
Уголь	–	–	300	160
Продукты, кг/т перерабатываемого материала				
Железо прямого восстановления	–	600–750	–	–
Чугун	–	–	250–300	300–1000
Сырой оксид цинка пыли	300–500	50–100	450	50–80
Шлак	600–750	–	250	300–400

Однако, перечисленные методы переработки сталеплавильной пыли имеют один общий недостаток, когда в результате проведённых процессов не возможно получить чистый металлический цинк, который может являться качественным сырьем для цинкового производства с его высоким содержанием. В качестве получаемого продукта выступает оксид цинка с большим содержанием примесей, что по сути можно отнести к вторичной пыли. Извлечение цинка из такого продукта на предприятиях цинкового производства сопряжено со сложностью технологической схемы, а также с энергетическими, материальными и, как следствие, с экономическими затратами.

Металлургические методы предусматривают расплавление железосодержащей пыли и получение в ходе жидкофазного восстановления (при температуре $1600\div 1800$ °С) железоуглеродистого расплава (полупродукта для получения стали) и пыли, с пониженным содержанием цветных металлов (прежде всего цинка и свинца). Данные методы имеют ряд недостатков, таких как, большая энергозатратность, сопровождаемая сложностью утилизации тепла отходящих газов, образование экологически вредных веществ в процессе высокотемпературной обработки, а также значительные капитальные вложения. Нужно отметить, что указанные металлургические методы остаются на экспериментальных стадиях и не получили широкого промышленного применения.

Еще одним видом использования плавильной пыли является брикетирование (процесс получения кусков – брикетов с последующим прессованием до нужных размеров и форм) со связующими веществами, с последующим использованием в металлургических печах. Технология позволяет создать условия циклической системы сталеплавильной пыли. Но для металлургических предприятий назревает необходимость в создании линии по брикетированию пыли, включающую в себя ряд технологических операций.

Альтернативным видом использования плавильной пыли является её применение в качестве сырья для производства железооксидных пигментов. Такие пигменты пригодны для лакокрасочной промышленности, медицины и пищевой промышленности, а также находят широкое применение в резинотехнической и бумажной отраслях, для окрашивания строительных материалов [7,8]. Дефицит в таких пигментах высокий, а предприятий по их производству в России практически нет. Основной составляющей плавильной пыли чёрной металлургии является высший оксид железа гематит Fe_2O_3 , благодаря чему уловленная пыль имеет коричневую окраску, и чем меньше в пыли гематита, тем более густой коричневый тон имеет пыль. Также в состав плавильной пыли входят и другие оксиды железа: вюстит и магнетит, имеющие черный окрас. Кроме того, в состав плавильной пыли входят и оксиды других металлов, в частности Al_2O_3 , ZnO , которые являются основой других пигментов Al_2O_3 – серебристого, а ZnO – белого. Их присутствие в плавильной пыли придает ей более светлый

тон. Для возможности использования плавильной пыли в качестве пигментов необходимо перейти на сухой способ очистки печных газов, что обеспечит более эффективное улавливание пыли. Однако, переход на сухой способ очистки сопряжен с экономическими затратами для предприятия. К тому же, говоря о недостатках, производство железоксидных пигментов осуществляется по трудоёмким технологиям, с использованием высоких температур (до 1000 °С). Но стоит отметить, что экономическая эффективность получения и применения железосодержащих оксидов для других отраслей значительно выше, чем рециклинг пыли на металлургических предприятиях.

Подводя итог выше изложенному, можно сказать, что за всю историю переработки отходов металлургического производства было разработано множество технологических решений по использованию плавильной пыли, но большинство из них так и не получили промышленного применения. Таким образом, проблема переработки и реализации плавильной пыли на сегодняшний день остаётся актуальной.

Стремление к применению новых эффективных ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий комплексной переработки вторичного металлосодержащего сырья, в частности плавильной пыли, а также к совершенствованию организации производства может повысить возможности промышленного освоения данной пыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. Приказ Минпромторга России от 05.05.2014 № 839 «Об утверждении Стратегии развития черной металлургии России на 2014 - 2020 годы и на перспективу до 2030 года и Стратегии развития цветной металлургии России на 2014 - 2020 годы и на перспективу до 2030 года» // СПС Консультант плюс : [сайт]. URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_165502/ – Текст : электронный.
3. Большина, Е.П. Экология металлургического производства / Е.П. Большина // Курс лекций. – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2012. – 155 с. – Текст : непосредственный.
4. Попов, А.А. Изучение возможности применения нетрадиционных реагентов для выщелачивания цинка из пылей черной металлургии / А.А. Попов, Г.В. Петров // Материалы конференции «Проблемы недропользования». Санкт-Петербург. – 2014. – с. 324. – Текст : непосредственный.
5. Holtzer, M. The recycling of materials containing iron and zinc in the oxycup process archives of foundry engineering / M. Holtzer, A. Kmita, A. Roczniak // Archives of foundry engineering.

- 2015. - Vol. 15 № 1. - pp. 126-130. – Текст : непосредственный.

6. Stoltz, R. State of the art technology to recover metals from EAF/BF/BOF dust and sludge // Int. Conf. on process innovation & cost optimization in iron & steel making (Ranchi, Jharkhand. India.): [сайт]. URL : <http://www.priism-2010.in/pdf/techsesi3/> – Текст : электронный.

7. Патент № 2256679 Российская Федерация, Способ получения железоксидных пигментов : № 2011125988/05 : заявл. 23.06.2011 : опубл. 10.01.2013 / Лукашевич О. Д., Усова Н. Т., Герб Л. В., Гончаров О. Ю. ; заявитель ТГАСУ. – 9 с. : ил. – Текст : непосредственный.

8. Патент № RU 2441895 C1 Российская Федерация, Способ получения противокоррозионного пигмента : № 2010134269/05 : заявл. 16.08.2010 : опубл. 10.02.2012 / Светлаков А. П., Степина Н. И., Вахин А. В., Шереметьева И. М., Ситнов С. А. ; заявитель КНИТУ. – 6 с. : ил. – Текст : непосредственный.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА ЖИДКОЙ СТАЛИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ ТОНКОСЛЯБОВОЙ МНРС

Крошкин А.М., Казин Д.Р.

Выксунский филиал НИТУ «МИСиС»,

antonkroshkin@bk.ru, +79877568595;

denis.kazin@mail.ru, +79040457768

***Аннотация.** Представлены результаты исследования процессов движения жидкости в кристаллизаторе тонкослябовой МНРС. В широком кристаллизаторе (1800 мм) из-за усиления верхнего контура циркуляции происходит сильное возмущение границы раздела «шлак-металл». В течение 46 с происходит «вброс» частиц ШОС к узкой стенке и в зону погружного стакана. При уменьшении ширины кристаллизатора до 1400 мм, и соответственно скорости разливки, наблюдается «мягкая» деформация циркуляционного контура узкой стенкой и снижение подповерхностной скорости движения жидкости на границе «шлак-металл»*

Ключевые слова: кристаллизатор; тонкослябовая машина непрерывной разливки стали (МНРС); погружной стакан.

INVESTIGATION OF THE FLOW OF LIQUID STEEL IN THE CRYSTALLIZER OF A THIN SLAB CONTINUOUS CASTING MACHINE

Kroshkin A.M., Kazin D.R.

Vyksa branch of National University of Science and Technology "Misis"

Abstract. *The results of the study of fluid motion processes in the thin slab continuous casting machine crystallizer are presented. In a wide crystallizer (1800 mm), due to the strengthening of the upper circulation circuit, a strong disturbance of the slag-metal interface occurs. Within 46 seconds, the particles of the slag-forming mixture are "thrown" to the narrow wall and into the zone of the immersion cup. When the width of the mold is reduced to 1400 mm, and, accordingly, the casting speed, there is a "soft" deformation of the circulation circuit by a narrow wall and a decrease in the subsurface velocity of the liquid at the slag-metal boundary.*

Keywords: Crystallizer; thin slab continuous casting machine; submerged entry nozzle

В электрошлаковом цехе литейно-прокатного комплекса АО «ВМЗ» проводят работы по повышению производительности тонкослябовой МНРС. В результате увеличения толщины сляба и удлинения зоны вторичного охлаждения максимальная массовая скорость разливки возросла с 3,79 до 4,10 т/мин.

Известно, что тонкослябовая МНРС отличается высоким отношением массовой скорости поступления металла к площади поперечного сечения кристаллизатора, где формируется структура потоков жидкости с достаточно высокой скоростью. Как показывает промышленный опыт такие условия движения жидкости способствуют развитию процессов, которые могут отрицательно сказываться на качестве поверхности и внутренней структуры непрерывнолитого слитка.

Одной из распространенных конструкций погружных стаканов для разливки тонких слябов является прямоточный погружной стакан типа «бобровый хвост». Существует ряд модификаций данной конструкции, выполняемых под конкретную МНРС [1-4]. Вместе с тем их объединяет общая динамическая картина движения потоков непосредственно в самом кристаллизаторе. Два плоских выпускных отверстия, расположенных под небольшим углом к вертикали, направляют жидкий расплав преимущественно вглубь кристаллизатора. Вблизи узких стенок кристаллизатора МНРС происходит разделение на верхний и нижний циркуляционные потоки. Верхний циркуляционный поток проходит вдоль узкой стенки, а затем движется под зеркалом металла. Конструкция данного стакана обеспечивает интенсивный подвод достаточного количества горячего металла в верхнюю часть кристаллизатора с высокой скоростью, а структура потоков жидкости существенным образом зависит от условий взаимодействия струи металла с узкой стенкой кристаллизатора.

Результаты предыдущих исследований в лаборатории ВФ НИТУ «МИСиС» [5] показывают, что гидродинамическая структура потоков верхних участков циркуляции жидкости в кристаллизаторе при разливке прямоточным стаканом с раскателем состоит из пяти характерных зон: выхода жидкости из разливочного стакана, взаимодействия плоской струи с узкой стенкой кристаллизатора, свободной циркуляции жидкости, области обратной циркуляции и центрального нисходящего потока. Причем скорость и количество жидкости в зоне свободной циркуляции, определяющей гидродинамику на границе металл-ШОС, формируют условия взаимодействия струи из прямоточного погружного стакана с узкой стенкой кристаллизатора.

Изучение параметров гидродинамической картины потоков в условиях повышения массовой скорости разливки позволяет оценить склонность к загрязнению слитка экзогенными неметаллическими включениями [6, 7], качество смазки поверхности стенок кристаллизатора и равномерности формирования здоровой корки слитка.

В ходе исследований для кристаллизатора шириной 1800, 1600, 1400, 1200 и 1000 мм и массовой скорости разливки 4,10; 4,00; 3,80; 3,30; и 2,70 т/мин соответственно (табл.1) проведена визуализация потоков, определены скорость движения жидкости в узловых точках, угол между струями на выходе из ПРС, угол и место набегания на узкую стенку кристаллизатора, протяженность и средняя скорость цикла циркуляции, параметры и поведение зеркала жидкости в кристаллизаторе (воронки, затягивание ШОС, потоки в зоне ПРС), а также дана оценка длительности поглощения легких дисперсных частиц объемом ванны с поверхности жидкости.

Таблица 1 – Расход жидкости на модели для различной ширины сляба, толщиной 112мм

Ширина сляба, мм	Расход жидкой стали		Скорость движения жидкости, м/мин		Расход воды на модели, м3/ч
			сталь	вода	
	т/мин	м3/мин			
1800	4,10	0,59	116,58	82,68	6,23
1600	4,00	0,57	113,74	80,67	6,08
1400	3,80	0,54	108,05	76,63	5,78
1200	3,30	0,47	93,84	66,55	5,02
1000	2,70	0,39	76,77	54,45	4,10

Результаты экспериментов показали, что в исследованном диапазоне скорость потока на выходе из сопла пропорциональна расходу жидкости и не зависит от ширины кристаллизатора. Для применяемого в цехе погружного разливочного стакана увеличение расхода жидкости с 2,5 до 7,0 м³/ч вызывает изменение скорости потока на срезе сопла ПРС с 0,10 до 0,40 м/с. В данных условиях увеличивается с 40 до 90 градусов соответственно угол набегания на узкую стенку кристаллизатора. Следовательно, увеличение расхода жидкости и ширины кристаллизатора существенно развивает циркуляцию жидкости в верхнем контуре.

В широком кристаллизаторе (1800 мм) из-за усиления верхнего контура циркуляции происходит сильное возмущение границы раздела «шлак-металл» (волна 7 мм). В течение 46 с происходит «вброс» частиц ШОС на к узкой стенке и в зону погружного стакана. При уменьшении ширины кристаллизатора до 1400 мм, и соответственно скорости разливки, наблюдается «мягкая» деформация циркуляционного контура узкой стенкой и снижение подповерхностной скорости движения жидкости на границе «шлак-металл». Данная конфигурация приводит к существенному ослаблению вышеуказанных эффектов на зеркале жидкости: волна не просматривается, «вброс» частиц менее интенсивен, а продолжительность

их нахождения на поверхности ванны возрастает более, чем в два раза и составляет в среднем 113 с.

В результате уменьшения ширины кристаллизатора и скорости разливки происходит постепенное ослабление верхнего циркуляционного контура и скорость подповерхностных потоков в узком кристаллизаторе шириной 1000 мм практически равна нулю. Вероятно, данное обстоятельство существенно сказывается на температурном режиме работы ШОС. Кроме того, направленный в нижний контур поток горячего металла может существенно снизить скорость формирования корочки слитка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rogler, J.P. 25 Years of Refractory Development for Thin-Slab. Application / J.P. Rogler, J. Richaud, G. Baehren // AISTech Proceedings, 2015. – P. 2523-2533.
2. Дальман, П. Производство стали в Европе: инновации и эффективность / П. Дальман, Р. Фандрих, Х.Б. Люнген // Черные металлы, 2013. № 3 (975). С. 32-40.
3. Besich, R.M. CFD Modeling of Nos. 2 and 3 Slab Casters at ArcelorMittal Indiana Harbor No. 2 Steel Producing Shop / R.M. Besich, M. M. Yavuz // AISTech, Proceedings. - Volume I, 2009. - P. 1163-1170.
4. Zhang, L. Development of Self-braking Nozzle for Steel Slab Continuous Casting Process / L. Zhang // AISTech, Proceedings. - Volume II, 2010. - P. 147-159.
5. Сафонов, В.М. Физическое моделирование движения жидкой стали в кристаллизаторе тонкослябовой МНРС / В.М. Сафонов, В.Г. Борисевич, В.В. Кислица, Д.В. Мороз // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Чёрная металлургия», 2019. – Т. 75. – № 4. – С. 454-460.
6. Морсун Л. Производство высококачественных рельсов на заводе ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» в Новокузнецке / Л. Морсун, А. Урбано // Металлургическое производство и технология. - №2, 2014. - С. 36-42.
7. Кислица, В.В. Внутреннее качество тонкого сляба / В.В. Кислица, С.А. Сомов, Е.Л. Ворожева, К.С. Сметанин // Сборник материалов V Региональной межвузовской научно-практической конференции «Творчество молодых — родному региону». - М-во науки и высшего образования РФ, Выксунский филиал НИТУ «МИСиС». — Казань: Бук, 2018. - С. 83-87.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗЛИВКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛЯБОВ АО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ» С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

Куница Н.Г., Кармалико В.В.

Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО ННТУ «МИСЦ», n.kunicina@mail.ru, 89068497243

АО «Уральская Сталь» zayac1095@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ технологии непрерывной разливки стали на слябовой МНЛЗ АО «Уральская Сталь». Определено влияние основных технологических параметров разливки на качество непрерывнолитых слябов. Предложены рациональные уровни основных параметров непрерывной разливки, обеспечивающие получение непрерывнолитой заготовки с высоким качеством поверхности.

Ключевые слова: сталь; непрерывная разливка; качество металла; температура.

IMPROVEMENT OF CASTING TECHNOLOGY OF CONTINUOUS CAST SLABS OF URAL STEEL JSC WITH THE PURPOSE OF INCREASING THE SURFACE QUALITY OF SHEETS

Kunitsina N.G., Karmaliko V.V

*Novotroitsk branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education National Research
Technical University "MISiS"*

Ural Steel JSC

Abstract. The analysis of the technology of continuous casting of steel at the slab continuous casting machine of JSC "Ural Steel" was carried out. The influence of the main technological parameters of casting on the quality of continuously cast slabs has been determined. Rational levels of the main parameters of continuous casting are proposed, which ensure the production of a continuously cast billet with a high surface quality.

Keywords: steel; continuous casting; metal quality; temperature.

Одной из основных проблем, встречающихся при разливке металла на МНЛЗ криволинейного типа, является наличие трещин во внутренней структуре металла, а также на поверхности слябов. Неудовлетворительное качество макроструктуры и поверхности непрерывнолитых слябов приводит к образованию трещин различного типа при горячей

деформации в прокатных цехах и, как следствие, к увеличению себестоимости готового листового проката [1].

В электросталеплавильном цехе (ЭСПЦ) АО «Уральская Сталь» непрерывная разливка стали в слябы осуществляется на одноручьевой криволинейной МНЛЗ № 2 конструкции «SMS Demag». Толщины разливаемых слябов - 190, 220 и 270 мм, ширина 1240 мм. Модернизация МНЛЗ № 2 позволила существенно снизить количество поверхностных дефектов непрерывнолитых слябов. Но, несмотря на полученные улучшения, в целом отсортровка листового проката остается достаточно высокой.

Изучение причин отсортровки листового проката АО «Уральская Сталь» по дефектам поверхности показал, что основными дефектами являются «рванина» и «сетчатая трещина» - дефекты сталеплавильного происхождения, которые образуются вследствие нарушения разливки слябов в электросталеплавильном цехе [2]. Поэтому в работе была сделана попытка определить влияние основных технологических параметров непрерывной разливки на отсортровку листового проката по указанным дефектам и предложить рациональные диапазоны параметров для получения литой заготовки с высоким качеством поверхности. Анализ отсортровки листового проката показал, что максимальная отсортровка - для листового проката из стали 10ХСНД. Поэтому влияние параметров разливки на качество слябов оценивалось именно для этой марки стали. Были обработаны производственные данные за 2020 год.

Результаты исследования влияния перегрева металла в промковше на отсортровку из стали 10ХСНД по дефектам «рванина» и «сетчатая трещина» представлены на рис.1 и 2.

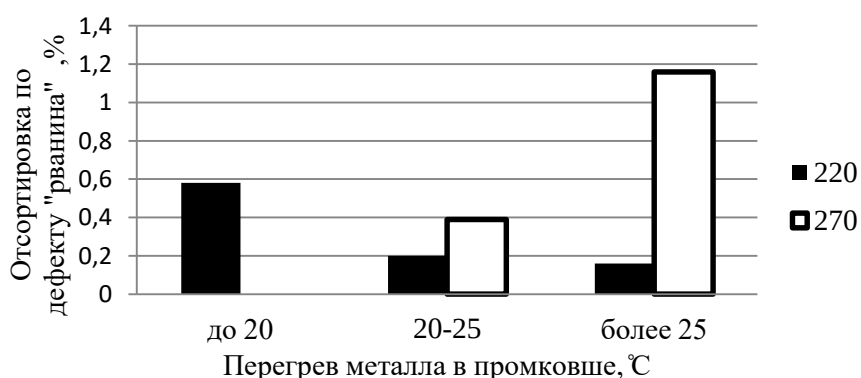


Рис.1 – Влияние перегрева металла на отсортровку проката по дефекту «рванина»

Для проката из слябов толщиной 220 мм максимальная отсортровка наблюдается при перегреве до 20 °C, на прокате же из слябов толщиной 270 мм дефект «рванина» реализуется при перегреве выше 20 °C. Увеличение отсортровки листового проката по дефекту «рванина» происходит вследствие раскрытия при прокатке угловых и поперечных трещин по узким

граням). Видно, что больше всего это происходит на заготовке толщиной 270 мм, которая имеет достаточную выпуклость на узкой грани.

Почти аналогичная зависимость представлена на рис. 2 по дефекту «сетчатая трещина». При этом для проката из сляба 270 мм дефект реализуется и при перегреве до 20 °С.

Повышение отсортировки листового проката по сетчатой трещине происходит в результате появления на поверхности непрерывнолитой заготовки микротрещин, образовавшихся в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения из-за термических напряжений при повышенных температурах перегрева и низкой скорости разливки при постоянном расходе воды в зоне вторичного охлаждения.

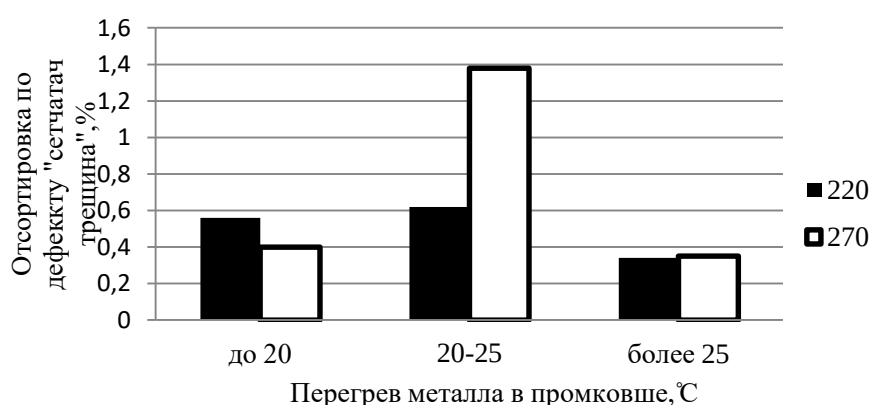


Рис. 2 – Влияние перегрева металла на отсортировку проката по дефекту «сетчатая трещина»

Еще одним определяющим качество непрерывнолитой заготовки технологическим параметром является скорость разливки стали. Влияние скорости разливки стали на отсортировку листового проката по дефектам «рванина» и «сетчатая трещина» показано на рис. 3 и 4. Видно, что величина отсортировки уменьшается при повышении скорости разливки стали (до номинальной). Максимальный процент отсортировки по дефекту «рванина» для сляба толщиной 220 мм - при скоростях меньше 0,85 м/мин., для сляба толщиной 270 мм - при скоростях 0,85-1,0 м/мин.

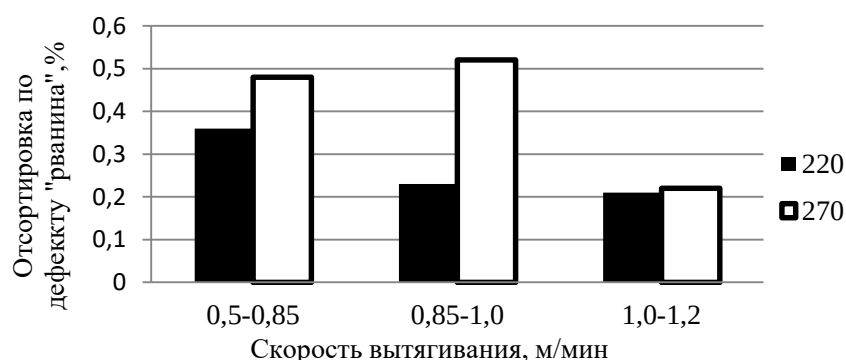


Рис. 3 – Влияние скорости разливки стали на отсортировку проката по дефекту «рванина»



Рис. 4 – Влияние скорости разливки стали на отсортировку проката по дефекту «сетчатая трещина»

Максимальный процент отсортировки по дефекту «сетчатая трещина» для сляба толщиной 270 мм - при скоростях меньше 0,85 м/мин. Для заготовки толщиной 220 мм скорость вытягивания практически не влияет на величину отсортировки по указанному дефекту.

Анализируя рис. 3 и 4 можно сделать вывод, что на листовом прокате из заготовки толщиной 270 мм особое влияние скорость вытягивания оказывает на образование дефекта «сетчатая трещина». Скорее всего, это связано с тем, что при уменьшении скорости вытягивания без изменения интенсивности вторичного охлаждения, поверхностная корочка металла переохлаждается и появляются термические напряжения, которые приводят к возникновению трещин.

В работе также было изучено влияние содержания водорода на отсортировку проката по указанным дефектам. При этом было отмечено, что с увеличением содержания водорода увеличивается процент отсортировки. Максимальное влияние увеличения содержания водорода на отсортировку проката наблюдается по дефекту «сетчатая трещина», для слябов толщиной 270 мм это влияние наиболее заметно. Влияние содержание водорода на отсортировку листового проката по дефектам «рванина» и «сетчатая трещина» для стали 10ХСНД показано на рис. 5 и 6.

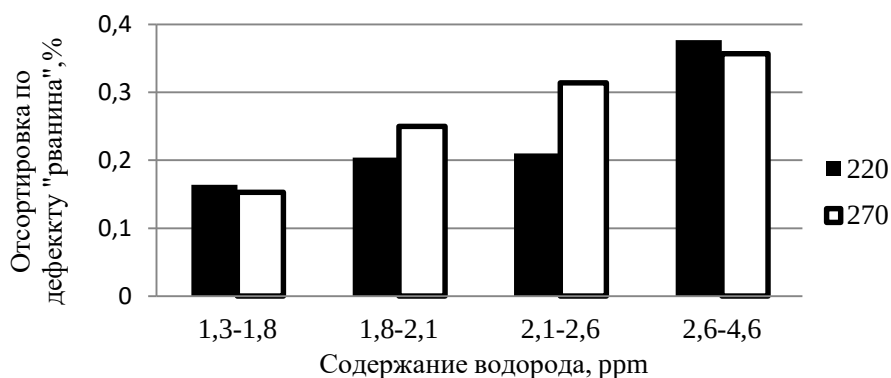


Рис. 5 – Влияние содержание водорода на отсортировку проката по дефекту «рванина»

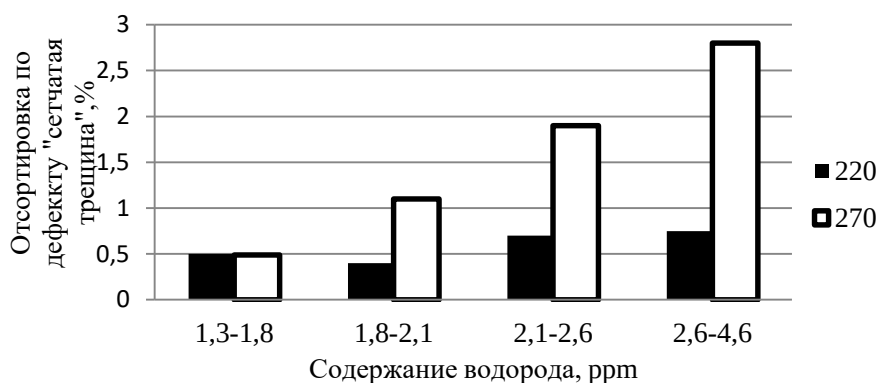


Рис. 6 – Влияние содержание водорода на отсортировку проката по дефекту «сетчатая трещина»

Максимальный процент отсортировки по дефекту «рванина» для сляба толщиной 220 мм составляет 0,37 % при содержании водорода более 2,6 ppm, для сляба толщиной 270 мм – 0,35 % при содержании водорода более 2,6 ppm.

Максимальный процент отсортировки по дефекту «сетчатая трещина» для сляба толщиной 220 мм - при содержании водорода 2,6 ppm, для сляба толщиной 270 мм - при содержании водорода также более 2,6 ppm.

Влияние содержания водорода в стали на величину отсортировки проката связано с тем, что при повышенном его содержании увеличивается вероятность подвисяния корочки слитка в кристаллизаторе, что неоднократно было доказано многими авторами. Подвисяние корочки приводит к образованию трещин на поверхности слябов, таким образом, увеличивая процент отсортировки листового проката.

Исходя из анализа, можно сделать выводы:

- возрастание температуры перегрева металла в промковше ведет к увеличению отсортировки листового проката по дефектам «рванина» и «сетчатая трещина»;
- снижение скорости разливки также приводит к увеличению отсортировки проката;

- повышение содержания в стали водорода негативно отражается на качестве поверхности листового проката.

Таким образом, для снижения отсортировки проката необходимо придерживаться следующих рекомендаций при непрерывной разливке слабов:

- поддержание температуры перегрева над температурой ликвидус на уровне 25-28 °С для заготовки толщиной 220 мм и 15-20 °С для заготовки толщиной 270 мм;

- обеспечение скорости разливки не ниже 1,1-1,2 м/мин для заготовки 220 мм, 1,05-1,1 м/мин. для заготовки 270 мм;

- снижение содержания водорода в стали до 1,5 ppm и ниже.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паршин В.М. Повышение эффективности процесса непрерывной разливки стали. – М.: Электromеталлургия, 2006. 143 с.

2. Кармалико В.В., Куницина Н.Г. Развитие поверхностных дефектов непрерывнолитых слабов при толстолистовой прокатке на стане 2800 АО «Уральская Сталь» / Наука и производство Урала: научно-технический и производственный журнал, 2020. С. 37-39.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ВАКУУМИРОВАНИЯ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ЭСПЦ АО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»
С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛА С МИНИМАЛЬНЫМ
СОДЕРЖАНИЕМ ВОДОРОДА**

Куница Н.Г., Курпилянский А.Н.

Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО ННТУ «МИСиС», n.kunicina@mail.ru, 89068497243

АО «Уральская Сталь», lemashine@gmail.com

***Аннотация.** Проведен анализ технологии вакуумирования стали производства ЭСПЦ АО «Уральская Сталь». Определено влияние основных параметров вакуумирования на эффективность удаления водорода. Предложены рациональные с технологической точки зрения уровни параметров вакуумирования, обеспечивающие получение стали с низким содержанием водорода в стали.*

Ключевые слова: сталь; водород; вакуумирование; качество металла.

**IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY
VACUUMING OF STEEL IN THE CONDITIONS OF ESPC JSC "URAL STEEL"
WITH PURPOSE OF OBTAINING METAL WITH MINIMUM
CONTENT HYDROGEN**

Kunitsina N.G., Kurpilyanskiy A.N.

*Novotroitsk branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education National Research
Technical University "MISiS"*

Ural Steel JSC

***Abstract.** The analysis of the technology of evacuation of steel produced by the ESPC of JSC "Ural Steel" is carried out. The influence of the main parameters of evacuation on the efficiency of hydrogen removal has been determined. Rational from the technological point of view, the levels of the pumping parameters are proposed, which ensure the production of steel with a low hydrogen content in the steel.*

Keywords: steel; hydrogen; evacuation; metal quality.

В стали присутствует много растворенных примесей, как цветных металлов, так и газов (H₂, O₂, N₂), которые негативно сказываются на качестве металла. С внедрением в современное

производство таких агрегатов, как ковш-печь и вакуумный аппарат, появилась возможность значительно улучшить чистоту стали от вредных примесей, но наряду с этим, осталась актуальной задача более глубокого изучения влияния примесей на качество металлопродукции.

Водород всегда был и всегда будет источником различных проблем для производителей стали. Если содержание водорода в жидкой стали превышает предел его растворимости в твердом железе, то водород будет выделяться при затвердевании стали, и это приведет к образованию в стали дефектов несплошности.

Для того, чтобы удалить водород из расплава, используют специальную технологию вакуумирования стали. При проведении вакуумной обработки удастся снизить концентрации растворенных в металле газов (не только водорода, но и азота, кислорода), а также содержание неметаллических включений. Металл в процессе вакуумирования становится однородным, перемешивается и гомогенизируется.

По сути, вакуумная обработка является единственным способом очистки расплава от цветных металлов, таких как сурьма, олово, цинк, заметно ухудшающих качество стали, а при вакуумации большая их часть испаряется.

Технология вакуумирования значительно увеличивает показатель чистоты стали перед последующими технологическими операциями, в данном случае разливкой на МНЛЗ, что в дальнейшем приводит к уменьшению запорочечности непрерывнолитых слябов по внутренней структуре [1-2].

В 2012 г. в электросталеплавильном цехе (ЭСПЦ) АО «Уральская Сталь» была введена в эксплуатацию установка вакуумирования стали камерного типа, что позволило существенно улучшить показатели непрерывной разливки и качество проката.

Поскольку присутствие растворенного в стали водорода заметно влияет на механические свойства металла и возникновение различных поверхностных и внутренних дефектов в прокате, практически вся сталь, выплавленная в условиях АО «Уральская Сталь», подвергается обработке на установке вакуумирования стали (УВС). На результат вакуумирования влияет большое количество факторов как технических, так технологических и организационных, однако влияние технических факторов при эксплуатации конкретного агрегата минимально [3].

Установки вакуумирования стали позволяет добиться глубокого удаления водорода из стали, но его снижение приводит к значительному увеличению затрат. Поэтому возникла необходимость в корректировке технологии вакуумирования с учетом требований к различным маркам стали.

В целях совершенствования технологии вакуумирования было проведено исследование влияния на эффективность вакуумирования таких технологических параметров, как температура начала обработки, продолжительность вакуумирования, глубина вакуума, количество шлака, потери температуры и расход аргона.

Для изучения эффективности удаления водорода при вакуумировании в ЭСПЦ АО «Уральская Сталь» стали был проведен анализ производственных данных. В качестве приоритетной марки стали была выбрана сталь 09Г2С, являющейся одной из наиболее производимой в условиях цеха – более 15 % общего объема производства стальных заготовок. Кроме того, отсортровка листового проката в ЛПЦ-1 из стали 09Г2С также находится на достаточно высоком уровне.

Для качественной оценки вида влияния технологических параметров вакуумирования в отдельности на содержание водорода были построены графики, представленные на рис. 1-4.

На рис. 1 показана зависимость содержания водорода в стали от длительности глубокого вакуумирования. С увеличением длительности глубокого вакуумирования до 12 – 13 мин., содержание водорода в стали, согласно проведенному анализу, уменьшается.

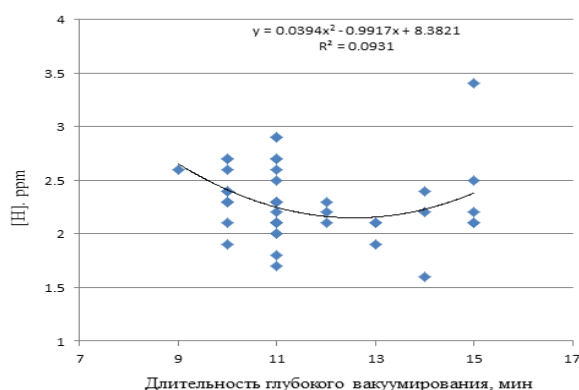


Рис. 1 – Зависимость содержания водорода в стали от длительности глубокого вакуумирования

Давление в вакуум камере является одним из весомых факторов, влияющих на содержание водорода в стали, и может быть использовано для регулирования процесса. Из рис. 2 следует, что содержание водорода снижается с уменьшением давления в вакуум-камере.

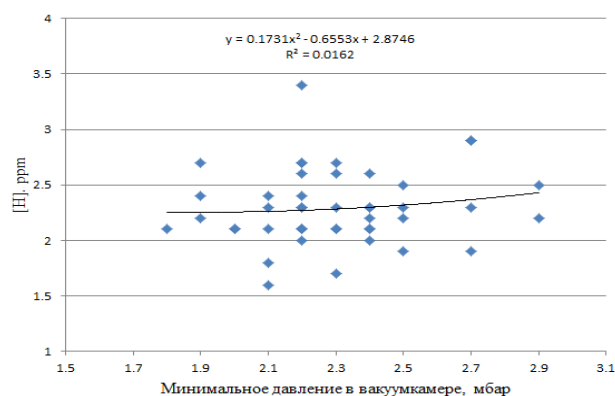


Рис. 2 – Зависимость содержания водорода от минимального давления в вакуум-камере

На удаление водорода значительное влияние оказывает температура обрабатываемого металла. Из рис. 3 следует, что повышение температуры металла до 1610-1615 °С улучшает условия удаления водорода, после чего влияние температуры уменьшается.

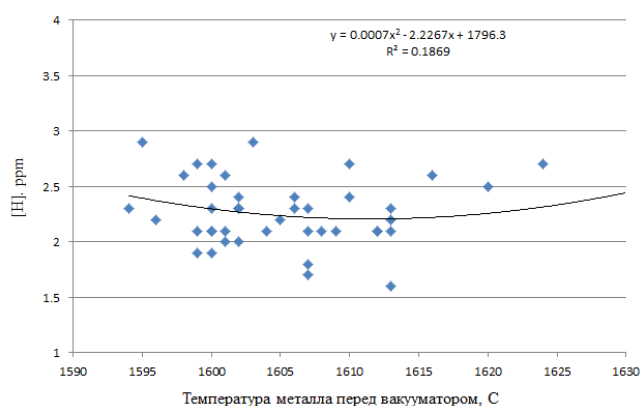


Рис. 3 – Зависимость остаточного содержания водорода от температуры металла перед вакууматором

Из практики известно, что при увеличении расхода аргона в ходе вакуумирования содержание водорода в стали уменьшается. Большое количество газовых пузырей, возникающих при подаче аргона, обеспечивает высокую скорость удаления водорода с самого начала цикла обработки стали на вакууматоре. Однако наиболее эффективное удаление водорода наблюдается при расходе аргона 5500 – 6000 л/мин (рис. 4).

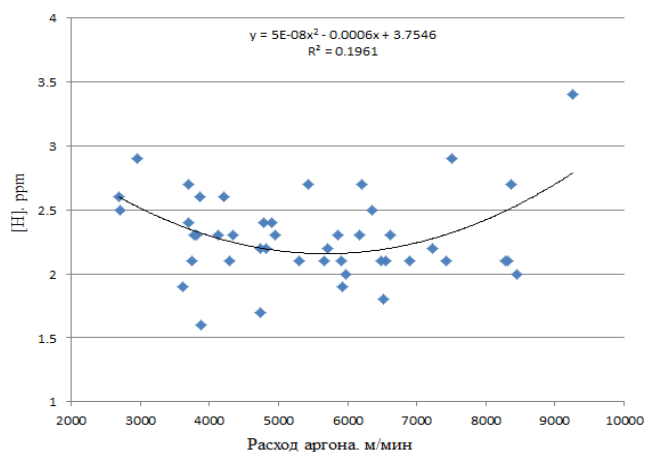


Рис. 4 – Зависимость содержания водорода от расхода аргона

На эффективность вакуумирования существенно влияет уровень шлака. На рис. 5 показано, что с уменьшением уровня шлака в ковше остаточное содержание водорода в стали снижается.

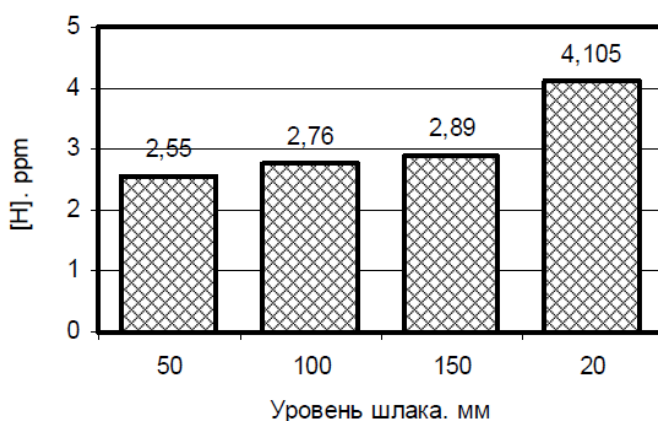


Рис. 5 – Зависимость остаточного содержания водорода от уровня шлака в ковше

Проведенный анализ влияния параметров вакуумирования на эффективность удаления водорода позволил сделать следующие выводы:

- с увеличением длительности глубокого вакуумирования до 13 мин. происходит наиболее быстрое снижение количества водорода в стали, поэтому длительность глубокого вакуумирования должна быть не более 15 мин.;
- при увеличении минимального давления свыше 2,1 мбар процессы удаления водорода замедляются, рекомендуемое значение – не более 2 мбар;
- при температуре выше 1610 °С снижение содержания водорода в стали незначительно, рекомендуемая температура – не выше 1615 °С;

- увеличение расхода аргона до 6000 л/мин. благоприятно влияет на снижение содержания водорода, дальнейшее увеличение расхода газа нерационально.

- оптимальный уровень шлака, при котором наблюдается минимальное содержание водорода - не более 150 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: Учебник для вузов. – М.: Мир, ООО «Издательство АСТ», 2003. 528 с.

2. Внепечное вакуумирование стали / А.Н. Морозов, М.М. Стрекаловский, Г.И. Чернов, Я.Е. Кацнельсон. – М.: Metallurgia, 1975. 288 с.

3. Технология вакуумирования стали / Паршин В.М., Жаворонков Ю.И., Протасов А.В., Луковников В.С. Москва, 1993 г. – М.: АО «Черметинформация», 1993. 239 с.

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБЛИЖЁННЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ КРИСТАЛЛОВ
В КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ТЕПЛОЁМКОСТИ ДЕБАЯ**

Лукьянов И.Е., Сурков В.П.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
Филиал ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический
университет «МИСиС» в г. Губкине
Россия, г. Губкин*

Аннотация. Используя квантовую теорию теплоёмкости Дебая, вычислено изменение молярной внутренней энергии кристалла ΔU при нагревании его на ΔT от температуры $T = \Theta_D$, если $\Delta T \ll \Theta_D$. Анализируя полученный результат, можно сделать вывод, что изменение молярной внутренней энергии кристалла в указанных условиях не зависит от характеристической температуры Дебая.

Ключевые слова: теплоемкость; квантовая теория теплоёмкости Дебая; температура; внутренняя энергия кристалла.

**APPLICATION OF APPROXIMATE METHODS FOR SOLVING PROBLEMS WHEN
CALCULATING CHANGES IN THE INTERNAL ENERGY OF CRYSTALS IN THE
DEBYE QUANTUM THEORY OF HEAT CAPACITY.**

Lukyanov I.E., Surkov V.P.

*Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS» Russia, Stary Oskol
Branch of FSAOU VPO "National Research Technology University "MISiS" in Gubkin Russia, Gubkin*

Abstract. Using Debye's quantum theory of heat capacity, the change in the molar internal energy of a crystal ΔU when heated by temperature ΔT to temperature $T = \Theta_D$, is calculated if $\Delta T \ll \Theta_D$. Analyzing the obtained result, it can be concluded that the change in the molar internal energy of the crystal under these conditions does not depend on the characteristic Debye temperature.

Keywords: heat capacity; Debye's quantum theory of heat capacity; temperature; internal energy of the crystal.

Задача: Используя квантовую теорию теплоёмкости Дебая, вычислить изменение молярной внутренней энергии кристалла ΔU при нагревании его на ΔT от температуры $T = \Theta_D$, если $\Delta T \ll \Theta_D$.

Решение.

Молярная внутренняя энергия кристалла в квантовой теории теплоёмкости Дебая является функцией абсолютной температуры и определяется по формуле:

$$U_m(T) = U_{m_0} + \frac{9 \cdot R \cdot T^4}{\Theta_D^3} \cdot \int_0^{\frac{\Theta_D}{T}} \frac{x^3}{e^x - 1} \cdot dx, \text{ где } U_{m_0} = \frac{9}{8} \cdot R \cdot \Theta_D - \text{молярная нулевая энергия по}$$

Дебаю, R - универсальная газовая постоянная, $\Theta_D = \frac{\hbar \cdot \omega_D}{k_B}$ - характеристическая температура Дебая, T - абсолютная температура кристалла, ℓ - основание натурального логарифма.

Найдём изменение внутренней энергии кристалла при его нагревании от температуры T_1 до температуры T_2 . В нашем случае $T_1 = \Theta_D$, $T_2 = T_1 + \Delta T$, $\Delta T \ll \Theta_D$. Получим формулу в общем виде:

$$\begin{aligned} \Delta U_m &= U_m(T_2) - U_m(T_1) = U_{m_0} + \frac{9 \cdot R \cdot T_2^4}{\Theta_D^3} \cdot \int_0^{\frac{\Theta_D}{T_2}} \frac{x^3}{e^x - 1} \cdot dx - (U_{m_0} + \frac{9 \cdot R \cdot T_1^4}{\Theta_D^3} \cdot \int_0^{\frac{\Theta_D}{T_1}} \frac{x^3}{e^x - 1} \cdot dx) = \\ &= \frac{9 \cdot R \cdot (\Theta_D + \Delta T)^4}{\Theta_D^3} \cdot \int_0^{\frac{\Theta_D}{\Theta_D + \Delta T}} \frac{x^3}{e^x - 1} \cdot dx - \frac{9 \cdot R \cdot \Theta_D^4}{\Theta_D^3} \cdot \int_0^1 \frac{x^3}{e^x - 1} \cdot dx = \frac{9 \cdot R \cdot \Theta_D^4 \cdot (1 + \frac{\Delta T}{\Theta_D})^4}{\Theta_D^3} \cdot \int_0^{\frac{1}{1 + \frac{\Delta T}{\Theta_D}}} \frac{x^3}{e^x - 1} \cdot dx - \\ &- 9 \cdot R \cdot \Theta_D \cdot \int_0^1 \frac{x^3}{e^x - 1} \cdot dx; \end{aligned}$$

Учитывая, что $\frac{\Delta T}{\Theta_D} \ll 1$, применим формулу Тейлора: $(1 + \frac{\Delta T}{\Theta_D})^{-1} \approx 1 - \frac{\Delta T}{\Theta_D}$,

$(1 + \frac{\Delta T}{\Theta_D})^4 \approx 1 + \frac{4 \cdot \Delta T}{\Theta_D}$, а также $\int_0^1 \frac{x^3}{e^x - 1} \cdot dx \approx 0.225$, получаем

$$\begin{aligned} \Delta U_m &\approx 9 \cdot R \cdot \Theta_D \cdot (1 + \frac{4 \cdot \Delta T}{\Theta_D}) \cdot \int_0^{1 - \frac{\Delta T}{\Theta_D}} \frac{x^3}{e^x - 1} \cdot dx - 9 \cdot 0.225 \cdot R \cdot \Theta_D = 9 \cdot R \cdot \Theta_D \cdot \int_0^{1 - \frac{\Delta T}{\Theta_D}} \frac{x^3}{e^x - 1} \cdot dx + \\ &+ 36 \cdot R \cdot \Delta T \cdot \int_0^{1 - \frac{\Delta T}{\Theta_D}} \frac{x^3}{e^x - 1} \cdot dx - 9 \cdot 0.225 \cdot R \cdot \Theta_D; \end{aligned}$$

$$\text{Интеграл} \quad \int_0^{1-\frac{\Delta T}{\Theta_D}} \frac{x^3}{e^x - 1} \cdot dx = \int_0^1 \frac{x^3}{e^x - 1} \cdot dx - \int_{1-\frac{\Delta T}{\Theta_D}}^1 \frac{x^3}{e^x - 1} \cdot dx \approx 0.225 - \frac{1}{e-1} \cdot \frac{\Delta T}{\Theta_D}$$

Подставляем приближённое выражение для интеграла в формулу для вычисления изменения молярной внутренней энергии кристалла, получаем:

$$\Delta U_m \approx 9 \cdot R \cdot \Theta_D \cdot \left(0.225 - \frac{1}{e-1} \cdot \frac{\Delta T}{\Theta_D}\right) + 36 \cdot R \cdot \Delta T \cdot \left(0.225 - \frac{1}{e-1} \cdot \frac{\Delta T}{\Theta_D}\right) - 9 \cdot 0.225 \cdot R \cdot \Theta_D \approx$$

$$\approx 36 \cdot 0.225 \cdot R \cdot \Delta T - \frac{9 \cdot R \cdot \Delta T}{e-1} = 9 \cdot R \cdot \Delta T \cdot \left(4 \cdot 0.225 - \frac{1}{e-1}\right) \approx 2.862 \cdot R \cdot \Delta T$$

Анализируя полученный результат, можно сделать вывод, что изменение молярной внутренней энергии кристалла в указанных условиях не зависит от характеристической температуры Дебая.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики, М., Высшая школа, 1989 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДОЖИГАНИЯ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ В ДУГОВОЙ ПЕЧИ ПРИ ЭЛЕКТРОПЛАВКЕ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕТАЛЛИЗОВАННОГО СЫРЬЯ

Малахова О.И., Меркер Э.Э.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
ox_m73@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассмотрены особенности дожигания монооксида углерода в рабочем пространстве высокомоощных дуговых печей при использовании железорудного металлизированного сырья (ЖМС) в шихте с целью повышения энергоэффективности электроплавки стали. Анализ результатов исследования методов и устройств для дожигания горючих газов в ДСП показал возможность повышения энергоэффективности электроплавки стали с использованием ЖМС при рациональном выборе горелочных устройств, режима подачи окислителя и движения продуктов дожигания в рабочем пространстве печи.

Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь; ДСП; дожигание; горючие газы; монооксид углерода; CO; железорудное металлизированное сырьё; металлизированные окатыши; энергия; энергоэффективность.

STUDYING THE FEATURES OF POSTCOMBUSTION COMBUSTIBLE GASES IN THE ARC FURNACE DURING THE ELECTROFUSION METALLIZED IRON ORE RAW MATERIALS

Malakhova O.I., Merker E.E.

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

Abstract. In this paper, the features of carbon monoxide postcombustion in the working space of high-power arc furnaces when using LMS in the charge to improve the energy efficiency of steel melting are considered. The analysis of the results of the study of methods and devices for postcombustion of combustible gases in the chipboard showed the possibility of improving the energy

efficiency of electric steel with the use of LCA in the rational choice of burner devices, the supply mode of oxidizer and the movement of postcombustion products in the working space of the furnace.

Keywords: electric arc furnaces; EAF; postcombustion; metallized iron ore raw materials; DRI; HDRI; energy; energy efficiency.

В черной металлургии физическое и химическое тепло отходящих газов при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах (ДСП) используется недостаточно эффективно [1-3]. Анализ имеющихся литературных и производственных данных [4-10] по использованию в ДСП методов и устройств по дожиганию горючих газов свидетельствует о возможности повышения энергетической эффективности плавки стали в ДСП при рациональном конструктивном выборе устройств системы дожигания и организации процесса дожигания. Недостаточное количество информации по геометрии (длине и диаметру) факела, возникающего в рабочем пространстве ДСП, и его влиянию на графитированный электрод и элементы футеровки вызывает необходимость моделировать процесс дожигания для конкретных условий электроплавки ЖМС. Таким образом, разработка методов дожигания СО при выплавке стали в ДСП является актуальной задачей.

В особенности это обстоятельство важно применительно к ДСП в которой осуществляется плавка ЖМС. Теплофизические свойства металлизированных окатышей и брикетов не равны соответствующим свойствам стального лома, что проявляется в увеличении затрат электроэнергии на их нагрев и расплавление, а также в удлинении времени плавления ЖМС, то есть к ухудшению технико-экономических показателей всего процесса. На рис. 1 показаны факторы, влияющие на процесс дожигания горючих газов (на примере монооксида углерода) в ДСП.



Рис. 1 – Факторы, влияющие на дожигание монооксида углерода в ДСП

Проведенный патентный поиск и анализ научно-технической литературы выявил разнообразные способы организации дожигания СО в ДСП [6, 9-12], имеющие существенные отличия. Так, в НИТУ МИСиС была разработана и усовершенствована технология дожигания СО вихревым радиационным инжектором - ИВР [1, 10]. Предложенная авторами методика расчета ИВР позволяет определять конструктивные и режимные параметры дожигательных аппаратов, совершенствовать автоматизированное управление этим процессом. При этом исключается негативное воздействие раскалённых газов на графитированный электрод, однако возрастает тепловая нагрузка на свод печи.

Существенную роль в дожигании СО над шлаком выполняют топливно-кислородные горелки (ТКГ) или продувочные кислородные фурмы [4]. Использование ТКГ для дожигания СО приведёт к ещё более сложной конструкции этих устройств и, соответственно, увеличению затрат на их покупку и эксплуатацию.

Также известны патенты на дуговые сталеплавильные печи [11, 12], содержащие устройство в виде фурмы для продувки металла кислородом в ванне печи с дожиганием горючих газов встречными потоками кислорода в рабочем пространстве агрегата. В результате дожигания горючих газов (СО и H_2) над шлаком выделяется большое количество тепла, используемое для дополнительного нагрева металла в ДСП. Недостатком таких устройств является то, что эти устройства имеют весьма сложное конструктивное исполнение, что не позволяет их эффективно использовать в практике производства. К недостатку относится также то, что требуется в своде ДСП иметь специальное отверстие для установки этих устройств с целью обеспечения дожигания горючих газов в рабочем пространстве агрегата.

Представляет интерес использование сводового устройства [11] для подачи струи кислорода, истекающего из сопла фурмы (рис. 2) во встречный поток горючих отходящих газов. При взаимодействии горючих газов с закрученным потоком кислорода интенсифицируется массообмен, а дожигание газов концентрируется в объеме ДСП с образованием факела дожигания, т.е. процесс дожигания газов кислородом является более эффективным с точки зрения повышения производительности процесса дожигания и интенсификации теплообмена в системе факел дожигания, ванна, стены и свод дуговой печи [11].

Внедрение в практику производства электростали в ДСП с применением такого устройства для дожигания горючих газов в потоке закрученного кислорода обеспечивает уменьшение длительности плавки на 10-15%, снижение расхода электроэнергии на 5-10% и увеличение производительности на 3-5%.

В настоящее время в мире имеются системы с контролем содержания кислорода в

составе отходящих из печи газов. Например, усовершенствованная система EFSOP, которая с помощью пробоотборника непрерывно отбирает печные газы и с помощью анализатора измеряет содержание в газах CO, CO₂, H₂ и O₂. Полученные данные позволяют усовершенствовать подачу кислорода, углеродсодержащих материалов, процесс дожигания CO и увеличит долю химической энергии отходящих газов.

В настоящей работе исследованы технологические особенности электроплавки ЖМС при подаче кислорода во встречный поток отходящих газов. Для оценки эффективности данного метода дожигания в ДСП провели обработку технологических параметров электроплавки стали при использовании ЖМС разного состава и в при разной их доле в шихте.

Количество монооксида углерода исходя из доли металлизированных окатышей D_{mo} и содержания реакционного углерода C_r в них

$$CO_{gaz} = D_{mo} \cdot C_r \cdot 280 / 12 \quad (1)$$

По результатам расчётов удельного количества CO при изменении доли металлизированных окатышей (при постоянном содержании в них углерода $C=1,6\%$) и при изменении процентного содержания углерода в окатышах (при их постоянной доле $D=0,7$) получены следующие зависимости количество выделяющегося CO, кг/т от доли металлизированных окатышей: $y=46,2x-0,002$; а также от содержания углерода в окатышах: $y=16,333x$.

Виды окислителя (воздух, кислород или воздух, обогащенный кислородом) также оказывает влияние на количество тепла, выделяющегося от дожигания горючих газов и на количество продуктов дожигания. Наиболее эффективно (больше приход тепла в рабочее пространство печи и меньше количество дымовых газов) использование чистого кислорода для дожигания горючих газов.

Полученные результаты подтверждают необходимость учитывать изменение количества выделяющегося CO по ходу плавки ЖМС с учетом заданного состава и доли металлизированных окатышей в шихте. Современные математические модели [5-9] позволяют достаточно точно определять изменение содержания углерода в расплаве в условиях непрерывной загрузки ЖМС в окислительный период. Возможность связать обезуглероживание, дожигание CO и теплоусвоение сталеплавильной ванны позволит повысить энергоэффективность электроплавки стали в высокомоощных ДСП. При этом общий приход тепла от дожигания газов в печи равен:

$$Q_{прих}^{дож} = V_{CO} \cdot q_{CO}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где V_{CO} – объем выделяемого газа CO из ванны за определенный период времени, $\text{м}^3/\text{с}$;
 q_{CO} – тепловой эффект от сжигания 1 м^3 газа, Дж/с.

Содержание CO в газовой фазе рабочего пространства ДСП по ходу электроплавки может существенно меняться, достигая 90% и более. Кроме металлизированных окатышей углерод в печь поступает - в гораздо меньшем количестве - со скрапом, графитированными электродами, коксиком и другими углеродсодержащими материалами (до 10 кг на тонну стали), причем часть углерода окисляется до CO_2 .

Количество образующихся газов составляет приблизительно 18 т на тонну полупродукта, получаемого при электроплавке металлизированных окатышей. Энтальпия продуктов дожигания горючих газов при максимальном содержании CO в печи достигает 3800 кДж/м^3 .

В настоящей работе была определена траектория факела дожигания при использовании сводового устройства (рис. 2) с подачей закрученной струи кислорода. Под действие силы инерции и подъемной силы факел изгибается в направлении к центру печи.

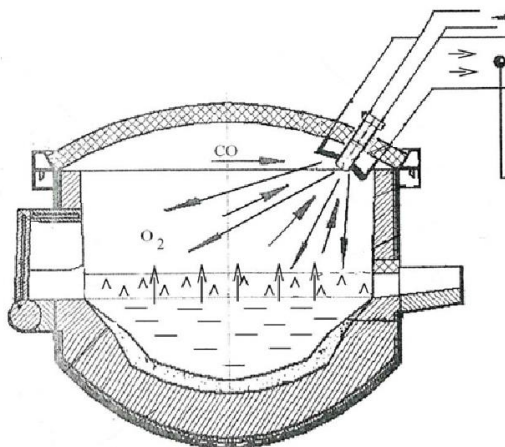


Рис. 2 – Сводовая фурма для дожигания CO в рабочем пространстве ДСП, работающей на металлизированных окатышах

Траектория струи факела дожигания описывается уравнением Г.Н. Абрамовича и имеет вид:

$$y = 0,027 \cdot Ar \cdot \left(x^3 + 11,3 \cdot r_c \cdot x^2 \right) / r_c^3, \quad (2)$$

где r_c – начальный радиус струи потока O_2 из фурмы, м ; x – расстояние вдоль поверхности шлака в печи, м.

В условиях подъёма шлаковой и сталеплавильной ванны при непрерывной загрузке ЖМС имеется возможность регулировать характер движения факела дожигания путём изменения расхода кислорода через сопло фурмы. Винтовая нарезка во внутренней поверхности сопла позволяет создать закрученный поток кислорода. Факел дожигания, изгибаясь, отдаёт максимальное количество тепла шлаковой ванне, что увеличивает коэффициент использования тепла $k_{эф}$.

Раскалённые продукты сгорания воздействуют преимущественно на нижнюю часть графитированного электрода. С учётом того, что температура торца и электрической дуги намного превышает калориметрическую температуру горения, можно утверждать что существенного увеличения угара электродов не будет.

Вывод Разработана методика расчета состава технологических газов при электроплавке ЖМС. Разработана модель и алгоритм расчёта траектории движения продуктов горения факела дожигания при использовании метода подачи струи кислорода от фурмы в свode до сталеплавильной ванны. Учтены особенности технологии плавки ЖМС в высокоомощной дуговой печи. Разработана модель и алгоритм расчёта параметров дожигания горючих газов в зависимости от расхода, состава и температурных условий электроплавки ЖМС в ванне ДСП. Определены энергетические условия процесса дожигания СО при использовании окислителя в виде кислорода, воздуха и воздуха, обогащённого кислородом. Определены условия организации траектории движения факела дожигания в рабочем пространстве ДСП, позволяющие не оказывать негативное влияние на разрушение электрода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арутюнов В.А. Дожи́гание горючих компонентов атмосферы в рабочих камерах промышленных печей /Арутюнов В.А., Егоров А.В., Стамахин А.Я. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2003. № 3. С. 46.
2. Кочнов, М. Ю. Повышение эффективности дожигания и охлаждения технологических газов крупнотоннажных дуговых сталеплавильных печей / М. Ю. Кочнов, Л. А. Шульц, Ю. М. Кочнов // Известия ВУЗов. Чёрная металлургия. — 2009. — № 11. — С. 49–55.
3. Исследование эффективности электроплавки окатышей в дуговой печи при дожигании оксида углерода топливно-кислородными горелками Степанов В.А., Крахт Л.Н., Меркер Э.Э., Кем А.Ю., Харламов Д.А. Вестник Донского государственного технического университета. 2016. Т. 16. № 2 (85). С. 97-104.
4. Разработка методов и алгоритмов системы оценки параметров режимов обезуглероживания и дожигания горючих газов в дуговой сталеплавильной печи. Меркер Э.Э.,

Степанов В.А., Крахт Л.Н., Кем А.Ю. //Вестник Донского государственного технического университета. 2017. Т. 17. № 2 (89). С. 99-107.

5. Merker, E.E., Krakht, L.N., Malakhova, O.I., Kozhukhov, A.A., Chermenev, E.A., Kazartsev, V.O., Stepanov, V.A. Electric Melting of Iron-Ore Prereduced Pellets in an Electric Arc Furnace (2017) Russian Metallurgy (Metally), 2017 (12), pp. 1002-1005.

6. Merker, E.E., Malakhova, O.I., Krakht, L.N., Kazartsev, V.O. Melting of iron-ore pellets in an arc furnace (2017) Steel in Translation, 47 (3), pp. 205-209.

7. 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.

8. 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.

9. Математическая модель рабочего процесса радиационного вихревого инжектора, установленного в своде печи. Ибадуллаев Т.Б., Арутюнов В.А., Левицкий И.А., Лешинин С.В. Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2006. № 3. С. 68-75.

10. Дуговая сталеплавильная печь с дожиганием горючих газов: патент Рос. Федерация: Э. Э. Меркер, Г. А. Карпенко, И. В. Моисеев. — № 2520883; опубл. 27.06.14, Бюл. № 18. — 3 с.

11. Арутюнов В.А. и др. Фурма для дожигания горючих газов в полости металлургических агрегатов. // Патент РФ № 2130082 от 10.05.1999 г.

12. Арутюнов В.А, Стомахин А.Я., Егоров А.В. и др. Способ дожигания горючих газов в сталеплавильных агрегатах// Патент РФ № (11) 2081180. Оpubл. 10.06.1997. Б.И. 01/2009.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПЛАВКИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕТАЛЛИЗОВАННОГО СЫРЬЯ (ЖМС) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ ДОЖИГАНИЯ ГАЗОВ И СЖИГАНИЯ ТБО И МУСОРА

Меркер Э.Э., Крахт Л.Н., Казарцев В.О.

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

Аннотация. В современных условиях развития черной металлургии характерным является создание и изменение мини- и микро металлургических заводов [1, 2, 5], где в электросталеплавильных цехах (ЭСПЦ) используют в основном железорудное металлized сырье (ЖМС) и металлолом, который широко используется в ДСП и агрегатах ковш-печь продувкой через днище ковша (рис. 1) топливно-кислородным факелами и последующий внешней обработкой жидкого расплава инертными газами [4, 6].

Ключевые слова: сталь; дуговые сталеплавильная печи (ДСП); агрегат ковш-печь; металлолом; шлак; дожигание газов; сжигание ТБО и мусора в ДСП или ЭСА-КП; электроплавка; ЖМС-окатыши; брикеты; внепечная обработка стали в ковше; совмещенные процессы электроплавки и внешней обработки стали в агрегатных ковш-печь.

RESEARCH OF THE PROCESSES OF ELECTRIC MELTING OF IRON ORE METALLIZED RAW MATERIALS (LMC) USING GAS BURNING SYSTEMS AND COMBUSTION OF MSW AND GARBAGE

Merker E.E., Kracht L.N., Kazartsev V.O.

*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*

Abstract. In modern conditions of the development of ferrous metallurgy, it is characteristic to create and change mini- and micro-metallurgical plants [1,2,5], where iron ore metallized raw materials (WMS) and scrap metal, which are widely used in EAF and ladle-furnace units with blowing through the bottom of the ladle (Fig. 1) with fuel-oxygen flares and subsequent external treatment of the liquid melt with inert gases [4, 6].

Keywords: steel; arc steelmaking furnaces (EAF); ladle-furnace unit; scrap metal; slag; afterburning of gases; incineration of solid waste and garbage in an EAF or ESA-KP; electric smelting; metal pellets; briquettes; out-of-furnace steel processing in a ladle; combined processes of electric melting and external steel processing in modular ladle-furnace.

Имеющиеся данные [1, 2, 6, 7] свидетельствуют о возможности и целесообразности рассредоточенной подачи ЖМС в ДСП (рис. 1) или в электросталеплавильной агрегат с использованием устройств ковш печь (рис. 2 и 3). Метод сжигания ТБО и мусора (МСТ) по схеме рис. 1 в ДСП или в ЭСА-КП (рис. 3) предусматриваемой [12] их загрузку на металлолом после его разогревание до 1500°C и более с помощью транспортной системы (поз. 5 рис. 1).

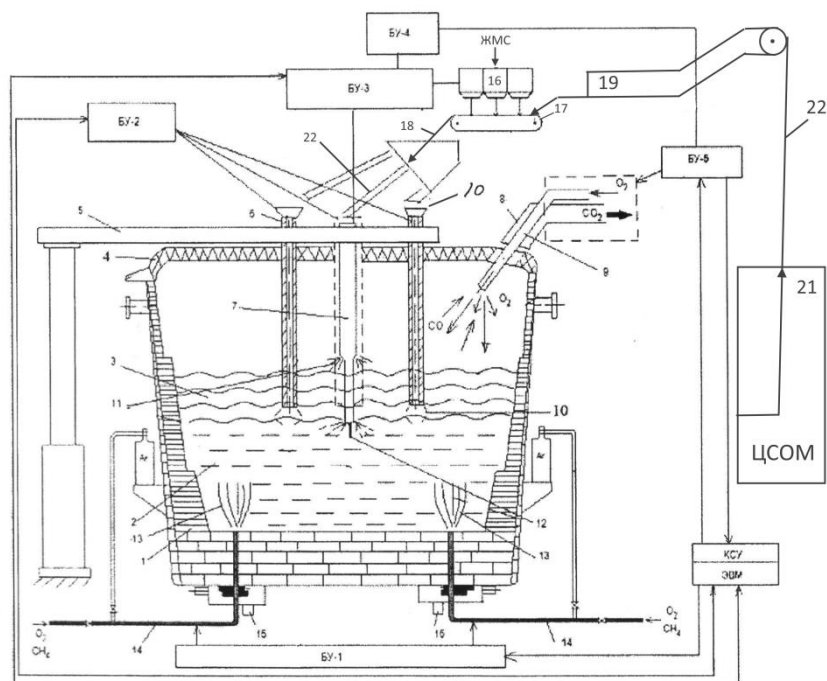


Рис. 1 – Вариант проектной схемы дуговой печи для электроплавки стали из ЖМС и сжигания на разогретом металлоломе прессованных тюков (пакетов) из ТБО и мусора: 1- направляющая труба с газокислородной горелкой, 2- исполнительный механизм системы подачи ЖМС в печь через полые электроды и трубу. 3- электрическая дуга через полые электроды. 4- подача газа и кислорода на горелку в трубе. 5- исполнительный механизм транс системы подачи в печь мусоросжигающих тюков(пакетов). 6- металлолом. 7- расплав. 7- система контроля температуры металла в печи. 8- поток ЖМС в трубе. 9- топливный факел и ЖМС. 10- потоки ЖМС в электродах. 11- днище печи. 12- электрододержатели электродов. 13- приемный конус электрода. 14- прибор контроля электрических и агрегатов плавки. 17- приемно-распределительная емкость. 15- трансгорды. 16- бункер ЖМС. 18- цех сбора, сортировки и прессовки мусоросжигающих тюков(пакетов) для подачи их в печь.

При этом потоки ТБО и мусора формируются на пресс установках в виде мусоросжигательных тюков (пакетов) - рис.1, которые имеются, напрямую для прохода (рис.2) размер около 1х0,5х0,5м.

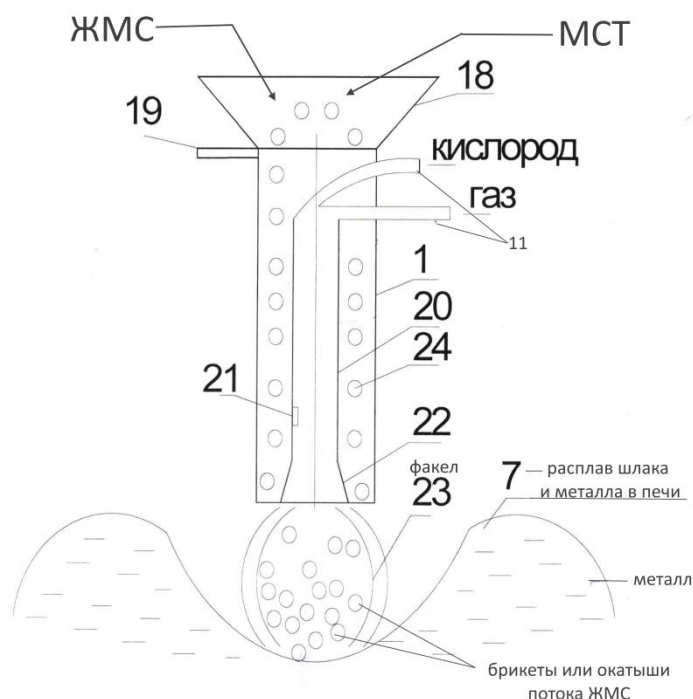


Рис. 2 – Направляющая труба [1]с конусом (18) и газокислородной горелкой (21) предназначенной для подогрева потока ЖМС(23) факелом дожигания горючих газов, а также для сжигания ТБО и мусора в ванне МСТ в рабочем пространстве печи

Интенсивность сжигания поступающих в печь МСТ и дожигания горючих газов достигаются сипенью разогрева поверхности металлолома и расходом кислорода, подаваемого на донные горелки рис. 1. После окончания мусоросжигающего периода работы агрегата опускаются графитовые электроды (рис. 3) для расплавления металлолома с подачей ЖМС для увеличения емкости металла сталеплавильной ванне до требуемого уровня последующей внепечной обработкой жидкой стали [4] по требованиям технологии [4, 6].

Образующийся от сжигания ТБО и мусора (МСТ) и дожигания горючих газов (CO_1 H_2 и др.) избыток тепла в агрегатах (рис.1) расходуется на подогрев металлолома, а при подачи ЖМС на Количество газов (V_{CO_1} $\text{м}^3/\text{т}$) возрастает и определяется параметром технологии электроплавки [3,7,8], что можно оценить по формуле:

$$V_{\text{CO}}=28(V_{\text{C}}*G_{\text{T}}+V_{\text{OK}}*[C])/12(100*G_0*P_{\text{CO}}); \quad (1)$$

V_C - скорость окисления углерода $\%[C]/C$; G_T и G_0 - текущая и начальная масса металла в ванне печи, кг; $V_{O_{12}}$ - скорость подачи ЖМС (окалы или брикеты), кг/с; $[C]$ - содержание углерода(%) в металле; ρ_{10} - плотность пузырьков CO в ванне, кг/м³.

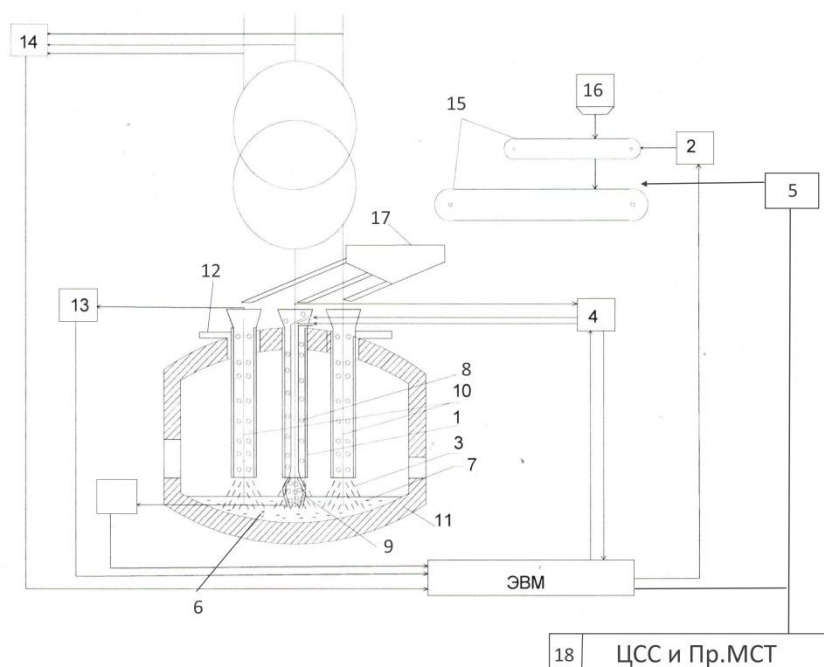


Рис. 3 – Схема конструкции ЭСА-КП с применением ЖМС при подаче их через графитовые электроды и вплавления их рассредоточенной продувки жидкой стали инертными газами в ковше(1-ковш, 2- ДУ устройство, 3- расплав, 4- шлак, 5- свод ковша, 6- электрододержатели, 7- электроды, 8- электродов для прохождения ЖМС, 9- электрическая дуга, 10- тракт подачи аргона в, 11-продуваемая форма, 12- стойка держателя футерованной фурмы, 13-газопонусная защита металла над шлаком)

$$\eta_{\text{CO}} = \text{CO}_2 / (\text{CO}_2 + \text{CO}); \quad (2)$$

 Δq_E^{CO} - доля энергии света дожигания газов;

$$Q_{CO}^{дож} = (V_{10} * Q_{10} * T_{iКДж}) / (G_T);$$

Q_{CO} - тепловой эффект реакции горения его и других газов.

Текущая масса металла по ходу электроплавки ЖМС в печах после расплавления металлолома представляется [8,10] равенством:

$$G_T = q_{гол}^B (q_{ок}^H + q_{ок}^{пл} + q_{рас} + q_{хим} + q_{со} + q_{пот}) / (-C_m * (dT/dT)) \quad (3)$$

$q_{гол}^B$ - полезный тепловой поток от внешних источников, равный $3\rho_d * \eta_{кит}$, ρ_d - тепловая мощность электрической дуги, Вт; $\eta_{кит}$ - коэффициент использования тепла от электрических дуг;

При этом количество тепла, поступающие на поверхность окатыша или брикета равно:

$$q_{ок}^H = q_n + F_n [\alpha_{m-ок} * (t - t_{cp_{ок}})] \quad (4)$$

q_n - плотность теплового потока на поверхности окатыша, Вт/м²; $\alpha_{m-ок}$ - коэффициент теплоотдачи от шлака окатышу, Вт/(м²*К); $t_{cp_{ок}}$ - средняя температура окатыша, К; C_m - средняя температура металла, К/с;

Потери тепла: $q_{ок}^{пл}$, $q_{рас}$, $q_{хим}$, $q_{со}$, $q_{пот}$ - на плавление окатыша, химической реакции, с отходящим газами и через футеровку печи, Вт. F_n - поверхность окатыша или брикета, м².

При использовании системы [6,7] непрерывной подачи ЖМС в ДСП (рис.1) или в ковш-печь предусматривается оптимальный выбор скорости ($V_{ок}$, кг/с) загрузки окатышей или брикетов в зависимости от теплосодержания ванны $Q_{в[Т]}$, КДж:

$$V_{ок} = f[(Q_{в[Т]}) / (\sum_i \Delta H_i * m_i)] > 1,2 \quad (5)$$

ΔH_i - изменение энтальпии загруженного в печь ЖМС вида i при его нагреве от исходной температуры t , °С до температуры плавления сырья, КДж/кг; m_i - масса загруженного в ванну сырья вида i , кг.

Исследования показали [8], что при использовании рассредоточенных методов (рис. 4) загрузки ЖМС в ванну печи производительность ее возрастает заметно а расход электроэнергии уменьшается что свидетельствует о повышении энергоэффективности современных процессов электроплавки ЖМС с применением внепечной обработки стали в электросталеплавильных агрегатах.

На основании выше изложенного анализе современных достижений [1, 2, 3, 7] развитии металлургических заводов представляется возможным рекомендация

электросталеплавильных печей [6, 7, 8]. В регионах при наличии железорудной базы создаются заводы по добычи и переработке железной пуды с целью получения ЖМС и мини заводы по ремонту и металлургического машиностроения, т.е. заводы по электрометаллургическому машиностроению (МЭМЗ-ММ).

Таким образом ЭСПЦ + завод железорудного производства и МЭМЗ-ММ позволяет сформировать макси электрометаллургический комбинат, т.е. М-ЭМК;

Что будет способствовать существенному развитию металлургии и промышленности в целом по стране.

В регионах, где имеются залежи железной руды представляется возможность спроектировать и построить новый металлургический завод или комбинаты (М-ЭМК), т.е. например в г.г. от Курска, Белгорода до г.г. Валуйки и Новый Оскол, расположенные в регионе Курской магнитной аномалии (КМА) возможно создать более тысячи новых металлургических предприятий и получить дополнительно до 100 млн.т/год стальной продукции на экспорт, что позволит догнать по производству стали страны КНР, США и др.

Вывод. Анализ показателей, что использование распределенных методов загрузки ЖМС в ДСП или в ЭСА-КП и управление процессами электроплавки и внепечной обработки стали на основе соблюдения согласованности хода процессов нагрева и обезуглероживания металла в ванне агрегатов с оптимизацией режимов $V_{пл}$ и $V_{ок}$ позволяет достигнуть [4, 7] высоких технико-электрических показателей работы электросталеплавильных агрегатов нового типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крахт Л.Н, МеркерЭ.Э, Рассолов В.М. и др. получение и электроплавка железного металлизированного сырья в агрегатных бездоменной металлургии.-Ст.Оскол,ТНТ,2017-4486.
2. Феномен мини металлургических заводов Адно Ю.Л.Мировая экономика и международные отношения -2014-№3-с34-45.
3. Г.В. Кашкашвили и др Технология выплавки стали в усовершенствованном агрегате ковшовой обработки. Сталь №7,2013г.-с.14-16
4. Меркер Э.Э. и др.RU№2649476.C2. Электросталеплавильный агрегат ковш-печь(ЭСА-КП) 28.02.2018.Бол№7.
5. Клачков А.А., Краильников В.О., Фомин В.И. Особенности технологии электроплавки окатышей в дуговой печи. «Электрометаллургия» № 4, 1999г. С – 50-54.
6. Меркер Э.Э., Малахова О.И. Патент RU № 2567424 от 11.10.2015г. Способ плавки стали из ЖМС в ДСП.

7. Арутюнов В.А., Стомахин А.Я. и др. Способ дожигания горючих газов в сталеплавильных агрегатах. Патент РФ № 2081180 от 28.02.2018г. Бюл. № 34.

8. Wyatt, D. Kundrat, H. Fuchsetal. Снижение расхода энергии за счет оптимизации режима вдувания кислорода и углерода в дуговой печи с учетом энергоэффекта от дожигания горючих газов// ОАО «Черметинформация». Новости черной металлургии за рубежом. 2010г. № 5. С – 28-29.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДУГОВОЙ
ПЛАВКИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕТАЛЛИЗИРОВАННОГО СЫРЬЯ (ЖМС)
В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ АГРЕГАТАХ**

Меркер Э.Э., Крахт Л.Н., Казарцев В.О.

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

Аннотация. Анализ современного развития электросталеплавильного производства в металлургии [1, 2, 4, 6] свидетельствуют о возможности повышении энергоэффективности электроплавки ЖМС в дуговой сталеплавильной печи. Эффективность работы электросталеплавильных агрегатов [2, 4, 5] с применением методов подачи окатышей в зоны влияния электрических дуг на шлак металлический расплав газ электродами оценивали по данным литературных источников [1, 2] и опытным данным [5, 6] работы 150т-ДСП.

Ключевые слова: сталь; дуговые сталеплавильные печи (ДСП); агрегат ковш-печь; металлолом; шлак; дожигание газов; сжигание ТБО и мусора в ДСП или ЭСА-КП; электроплавка; ЖМС-окатыши; брикеты; внепечная обработка стали в ковше; совмещенные процессы электроплавки и внешней обработки стали в агрегатных ковш-печь.

**RESEARCH WAYS OF INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF ARC MELTING OF
IRON ORE METALLIZED RAW MATERIALS IN ELECTRIC STEEL-MELTING UNITS**

Merker E.E., Kracht L.N., Kazartsev V.O.

*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*

Abstract. Analysis of the modern development of electric steel-making production in metallurgy [1, 2, 4, 6] indicates the possibility of increasing the energy efficiency of electric melting of iron-and-steel products in an arc steel-making furnace. The efficiency of electric steel-smelting units [2, 4, 5] using the methods of feeding pellets into the zones of influence of electric arcs on the slag metal melt gas electrodes was evaluated according to the literature data [1,2] and experimental data [5, 6] of 150t-EAF work.

Keywords: steel; arc steelmaking furnaces (EAF); ladle-furnace unit; scrap metal; slag; afterburning of gases; incineration of solid waste and garbage in an EAF or ESA-KP; electric smelting; metal pellets; briquettes; out-of-furnace steel processing in a ladle; combined processes of electric melting and external steel processing in modular ladle-furnace.

Исследования показали, что в случае попадания окатышей или брикетов из потока ЖМС в объемы дуг составляющие потока (окатыши, брикеты и др.) нагреваются за счет излучения, а тепловой поток воздействующий, напрямую на окатыш можно рассчитать по следующим выражениям:

$$Q_{\text{изл}} = E_{\text{пр}} * C_0 ([T_{\text{д}}/100]^4 - [T_{\text{ок}}/100]^4) * F_0 \quad (1)$$

$$F_0 = 3V_{\text{ок}} * \tau_{\text{пад}} / (\rho_{\text{ок}} * r_{\text{ок}}) \quad (2)$$

$$\tau_{\text{пад}} = (\sqrt{v_x^2 + 2h * a_2} - v_x) / a_2 \quad (3)$$

Здесь (1)+(3), $E_{\text{пр}}$ - приведенная степень черноты для ЖМС равная 0,9;

C_0 – излучательная способность абсолютно черного тела, равная 5,67 Вт/(м²*К); $T_{\text{д}}$ – температура дуги, К; $F_0 = F_{\text{ок}} * n_{\text{ок}}$ – тепловая мощность, принимающая поверхностью порции $F_{\text{ок}}$ окатышей или брикетов и их количество $n_{\text{ок}}$ в дуге; $V_{\text{ок}}$ – расход окатышей кг/с; $\tau_{\text{пад}}$ – время падения окатыша, с; $\rho_{\text{ок}}$, $r_{\text{ок}}$ – плотность и радиус окатыша, кг/м³, м; v_x – скорость падения окатыша на выходе из отверстия в электроде м/с; a_2 – ускорение движения окатыша или брикета по длине канала отверстия в электроде, м/с²; h – высота падения окатыша, м.

Из анализа выражений (1)...(3) и полученных данных [1, 2, 4] установили влияние длины электрической дуги $L_{\text{д}}$ и среднего радиуса окатыша $r_{\text{ок}}$ в потоке ЖМС на тепловой поток $q_{\text{п}}$, Вт/м², воздействующий на поверхность всех составляющих в потоке ЖМС, что подтверждается полученной корреляционной зависимостью в виде:

$$q_{\text{п}} = 18,2 * L_{\text{д}} - 3589 * r_{\text{ок}} + 48,72 \quad (4)$$

при $R^2 = 0,95$.

При использовании [3,6] системы подачи ЖМС через полые или трубчатые электроды [5] в ДСП или электросталеплавильные агрегаты (ЭСА-КП) ковш-печь представляется возможным одновременно с ЖМС подавать на шлако-металлический расплав сыпучи материалы (известь, коксик, окалину и др) для наводки и регулировки шлакового режима, что позволяет обеспечивать требуемый уровень вспенивания шлака и тем самым снизить

тепловые потери из зоны дуги, а также уменьшить пылеунос из печи. При этом установлено, что для определения количества, генерируемого в электрической дуге для зоны технологического процесса в агрегате имеем выражения:

$$P_D = 3U_D * J_D = \Delta q_v + q_{ок}; \quad (5)$$

$$q_{ок} = [C_{ок}(T_{пл} - T_{ок}) * \tau_{пл} + C_p(T_m - T_{пл}) * V_{ок}] \quad (6)$$

U_D – напряжение ,В; J_D – ток дуги, А, $C_{ок}$ и C_p – удельная теплоемкость ЖМС и получившегося расплав от катышей или брикетов, Дж/кг; $T_{ок}$, $T_{пл}$, T_m – температуры начальная окатыша, его плавления и металла в ванне печи, К; $\tau_{пл}$ – время плавления ЖМС, мин;

Δq_v – теплоусвоение шлакометаллической ванны, кВт.

Полученные выражения устанавливающие взаимосвязь уровня теплопитания ванны с фактическим расходом составляющих ЖМС, например, окатышей ($V_{ок}$, кг/с) по зависимости равно:

$$\Delta q_v = G_\tau * \bar{C} * (\delta T / \delta \tau) = (G_0 + V_{ок} * \tau) * \bar{C} * V_t \quad (7)$$

$G_\tau = (G_0 + V_{ок} * \tau)$ – текущая масса металла по х от у плавки ЖМС в ДСП и ЭСА-КП, т.; G_0 – начальная масса металла в печи после расплавления металлолома, т.; $\bar{C}$ – средняя теплоемкость металла в печи, Дж/(кг*К); τ – время подачи ЖМС в ванну печи, с; V_t – скорость нагрева металла (°C/с) в агрегате по ходу электроплавки ЖМС.

Из выражения (7) определяем требуемую скорость загрузки составляющих ЖМС в виде:

$$V_{ок} = (\Delta q_v / (\bar{C} + V_t) - G_0) / \tau, \text{ кг/с} \quad (8)$$

В этих условиях скорость плавления окатышей ($V_{пл}$, кг/с) зависит от температуры расплава (t_p , °C), интенсивности теплопередачи и времени расплавления окатыша (брикета), τ , с в соответствии с выражением:

$$V_{пл} = (dV / d\tau) = [\alpha_{ок} * (t_p - t_{ок}) * q_s] * F_0 \quad (9)$$

q_s –теплосодержание окатыша в зоне плавления; $V=m_{ок}/\rho_{ок}$ – изменение текущего объема при плавлении окатыша, m^3 ; $m_{ок}$ – масса окатыша, кг; $\rho_{ок}$ – плотность окатыша, $кг/м^3$; $t_{ок}$ – температура поверхности окатыша или брикета, $^{\circ}C$; $\alpha_{ок}$ – экспериментально определяемый эффективный коэффициент теплоотдачи на поверхности ЖМС, $Вт/(м^2*^{\circ}C)$.

Приняли что $\alpha_{ок} = Nu*\lambda/d_{ок}$, где:

λ – коэффициент теплопроводности сырья потоки ЖМС, $Вт/(м^2*^{\circ}C)$;

$d_{ок}$ – диаметр окатыша, м.

Значение Nu определяем [1] из следующего уравнения:

$$Nu=0,194*Re^{0,791}=0,194*((W*d_{ок})/\nu) \quad (10)$$

Re – число Рейнольдса;

W - скорость перемешивания расплав на поверхности окатыша, $м/с$;

ν – кинематический коэффициент расплава, $м^2/с$.

Весьма важными условиями [1,2,4] обеспечение энергоэффективности электроплавки ЖМС в ДСП или ЭСА-КП является быстрые и экономичные расплавления металлошихты при соблюдении походу плавки оптимального соотношения скоростей загрузки ЖМС в печь и плавления этого сырья, т.е. при соблюдении: $V_{ок}/V_{пл} = K_{опт}(x, \varepsilon) = f(V_{ок}/V_{пл})$ с учетом преобразования вышеизложенных выражений получили выражение для определения $K_{опт}(x, \varepsilon)$ в виде:

$$K_{опт}(x, \varepsilon) = [(q_s/\tau) * (\Delta q_b / (\bar{C} * V_t) - G_0)] / (\alpha_{ок} * (t_p - t_{ок})) * F_0 \quad (11)$$

$$V_{ок} < 1 < K_{опт}(x, \varepsilon) < 1 < V_{пл}$$

Анализ проведенных исследований показывает, что если критерии оптимальности больше единицы, то должна снижаться скорость плавления составляющих ЖМС, т.е. $V_{пл} \rightarrow \min$. и на оборот, если $K_{опт}(x, \varepsilon) < 1$, то требуется увеличение $V_{ок} \rightarrow \max$.

Таким образом при соблюдении синхронности хода процесса $V_{ок} \approx V_{пл}$ при электроплавке ЖМС обеспечиваются наилучшие условия по энергоэффективности электроплавки стали при использовании ЖМС в ДСП или в ЭСА-КП.

По данным исследований [1, 2, 5] установлено, что энергосберегающий режим электроплавки ЖМС в электросталеплавильных агрегатах улучшается если технологические процессы осуществляют в оптимальной области перегрева металла ($\Delta T_n, ^{\circ}C$) над линией ликвидуса, т.е. в области где $50^{\circ} < \Delta T_n < 100^{\circ}C$. В этих условиях [2] плавка стали из ЖМС

сопровождается снижением удельного расхода электроэнергии (~50 кВт*ч/т) и заметным увеличением производительности печи. Когда электрически дуги погружены во вспененный шлак полагаем, что количество тепла, поступающего от дуг в расплав (рис.1) равно:

$$Q_B = 0,9 * W * (P_{акт} - P_{э.п}) / 4\pi \quad (12)$$

$P_{акт}$ – активная мощность электропечной установки, кВт; W - величина телесного угла дуги ($W = ds * \cos\beta / r^2$) где r -расстояние от дуги до элементарной площадки ds , $r*\beta$ - угол между нормалью к площадке ds и направлением излучения от дуги; $P_{э.п}$ – мощность электрических потерь.

$$P_{э.п} = 3J^2 * R_{акт} \quad (13)$$

J - сила тока дуги; $R_{акт}$ - суммарное активное сопротивление системы.

Исследования [1, 2] показали, что по ходу плавки целесообразно соблюдать оптимальность хода процессов нагрева металла ($V_t, ^\circ C/c$) и скорость окисления углерода в нем ($V_c, \%C/c$) т.е. соблюдать соотношение $V_t / V_c = K_{опт}$ и тогда при средней величине $\Delta T_n = 75^\circ C$ текущее значение температуры $T_t = T_{ликв} + 75^\circ C$, а $K_{опт}$ определяем:

$$K_{опт} = V_t / V_c = [T_k - (T_{ликв} + 75)] / ([C]_k - [C]_t) \quad (14)$$

T_k и $[C]_k$ – конечные значения температуры металла и концентрации углерода в нем при окончании периода плавки.

Если, например, для 150т ДСП $K_{опт} = 350^\circ C / [\%C]$ при средних значениях $V_c = 0,02[\%]/мин$ и $V_t = 7^\circ C/мин$, то существующая оптимальная скорость V_t нагрева металла равна $V_t = K_{опт} * V_c = 350 * V_c$

В случае изменения режима загрузки ЖМС ($V_{ок}$ изменяется), то режим нагрева ванный также должен изменяться в соответствии с уравнением:

$$\Delta q_B = G_t * \bar{C} * (\delta T / \delta \tau) = (G_0 + V_{ок} * \tau) * \bar{C} * V_t \quad (15)$$

$\bar{C}$ - средняя теплоемкость шлако-металлической ванны.

Таким образом для соблюдения синхронности протекания процессов необходимо вносить коррективы путем воздействия на V_t по выражению:

$$V_t = \Delta q_v / (G_{\tau} \cdot \bar{C}) \quad (16)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркер Э.Э. Степанов В.А «Повышение энергоэффективности электроплавки стали. Бюллетень» Черная металлургия №1 2014-С41-49.
2. Меркер Э.Э и др «Энергосберегающий режим плавки металлизированных окатышей»
3. Крахт Л.Н, Меркер Э.Э, Рассолов В.М. и др. получение и электроплавка железного металлизированного сырья в агрегатных бездоменной металлургии. -Ст.Оскол, ТНТ,2017-4486.
4. Г.В. Кашкашвили и др. Технология выплавки стали в усовершенствованном агрегате ковшовой обработки. Сталь №7,2013г.-с.14-16
5. Кладков А.А., Крайльников В.О., Фомин В.И. Особенности технологии электроплавки окатышей в дуговой печи. «Электрометаллургия» № 4, 1999г. С – 50-54.
6. Адно Ю.Л. Феномен мини металлургических заводов // Мировая экономика и международные отношения -2014. №3. С. 34-45.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ГОРЯЧЕБРИКЕТИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗА

Никитченко Т.В., Тимофеева А.С., Федина В.В.

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

Аннотация. Брикетирование восстановленных окатышей при высокой температуре является одним из способов снижения скорости вторичного окисления железа прямого восстановления. Метод брикетирования основывается на уменьшении площади контакта чистого железа с кислородом, поэтому прочностные свойства полученного продукта имеют высокую значимость. Показано влияние температуры нагрева металлизированных окатышей на их пластические свойства и силы сцепления между окатышами. Результаты исследований могут быть использованы при горячем брикетировании окатышей железа прямого восстановления.

Ключевые слова: горячебрикетированное железо; железо прямого восстановления; прочность брикетов; аутогезия; силы сцепления; брикетирование; площадь контактов между частицами; металлизированные окатыши.

IMPROVING THE STRENGTH OF HOT-BRIQUETTED IRON

Nikitchenko T.V., Timofeeva A.S., Fedina V.V.

*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*

Abstract. Briquetting of reduced pellets at high temperature is one of the ways to reduce the rate of secondary oxidation of direct reduction iron. The briquetting method is based on reducing the contact area of pure iron with oxygen, so the strength properties of the resulting product are of high importance. The influence of the heating temperature of metallized pellets on their plastic properties and the adhesion forces between the pellets is shown. The results of the research can be used for hot briquetting of iron pellets of direct reduction.

Keywords: hot-briquetted iron; direct reduction iron; briquette strength; autohesion; bonding forces; briquetting; contact area between particles; metallized pellets.

Горячее брикетированное железо считается наиболее дорогим товаром. Благодаря упрочнению внешнего поверхностного слоя, ГБЖ обладает лучшей транспортабельностью, безопасностью при перегрузке и перевозке различными видами транспорта по сравнению с металлизованными окатышами и железом холодного брикетирования [1-2].

Однако, железо прямого восстановления (ПВЖ) характеризуется высокой склонностью ко вторичному окислению, что влечет за собой потерю его металлургической ценности [3-4]. В своё время были предложены способы пассивации металлизованных окатышей, при которых происходит формирование защитной оксидной пленки.

Брикетирование восстановленных окатышей также является одним из видов снижения скорости вторичного окисления железа прямого восстановления, однако данная технология не предотвращает полностью окислительный процесс [3-5].

На кафедре металлургии и металловедения СТИ НИТУ «МИСиС» проводятся исследования механизма формирования прочностных свойств ГБЖ [4].

В физике сцепление разнородных твердых и жидких тел называют адгезией – это способность соединения приведенных в контакт поверхностей различных по своей природе материалов.

Частным случаем адгезии является аутогезия, самослипание - сцепление между контактирующими поверхностями одинакового материала. Несмотря на то, что при брикетировании взаимодействуют поверхности окатышей, имеющие одинаковый химический состав, гранулы все же представляют собой разрозненные частицы – у них разный размер, различная пористость, может оказаться разной температура, поэтому процесс сцепления гранул в процессе брикетирования следует рассматривать как частный случай адгезии, т.е. аутогезию [5].

Адгезия - функция материальной пары и состояния соединения. Силы адгезии и аутогезии зависят от таких факторов как кристаллическая структура твердого тела, кристаллографическая ориентация, растворимость одного материала в другом, химическое взаимодействие, действие и разделение агрегатов, чистота поверхности, нормальная нагрузка, температура, продолжительность контакта [3-5].

На основе изученных литературных источников было сделано предположение, что для обеспечения большей прочности брикетов ГБЖ, необходимо увеличить силы сцепления между брикетируемыми окатышами. Это можно сделать за счет увеличения площади контакта между частицами, что в свою очередь определяется степенью приближения поверхностей друг к другу и величиной деформации окатышей. Одним из направлений повышения степени деформации окатышей является увеличение степени их нагрева. На кафедре металлургии и металловедения СТИ НИТУ МИСиС было решено выполнить эксперименты, направленные

на исследование степени деформации восстановленных окатышей в зависимости от их нагрева [3-5].

Для экспериментов были отобраны восстановленные окатыши с установок металлизации АО «Лебединский ГОК». Химический состав металлизированных окатышей представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав металлизированных окатышей

Окатыши	Содержание компонента, %						
	Fe _{общ}	Fe _{мет}	M	CaO	C	SiO ₂	S
АО «Лебединский ГОК»	90,6	85,72	94,3	1,06	1,33	3,87	0,0025

Задача эксперимента заключалась в определении влияния температуры нагрева окатышей на их способность к деформации и образование площади контакта между деформируемыми окатышами, а также в оценке сил сцепления, возникающих при этом.

В целях исключения влияния побочных факторов, влияющих на силы сцепления между окатышами, для брикетирования был отобран материал примерно одного диаметра 13 – 14 мм. Нагрев проводили до следующих температур: 650 °С, 700 °С, 750 °С, 800 °С, а затем подвергали брикетированию.

Материал, спрессованный при температуре 650 °С, не удержался в форме брикета сразу при высвобождении из формы. Полного разрушения окатышей не наблюдалось, хотя все имели боковые трещины. Это говорит о том, что нагретые до 650 °С окатыши пластичны и деформируются без разрушения при данных усилиях, но сцепления между ними не происходит (см. рис. 1 (а)).

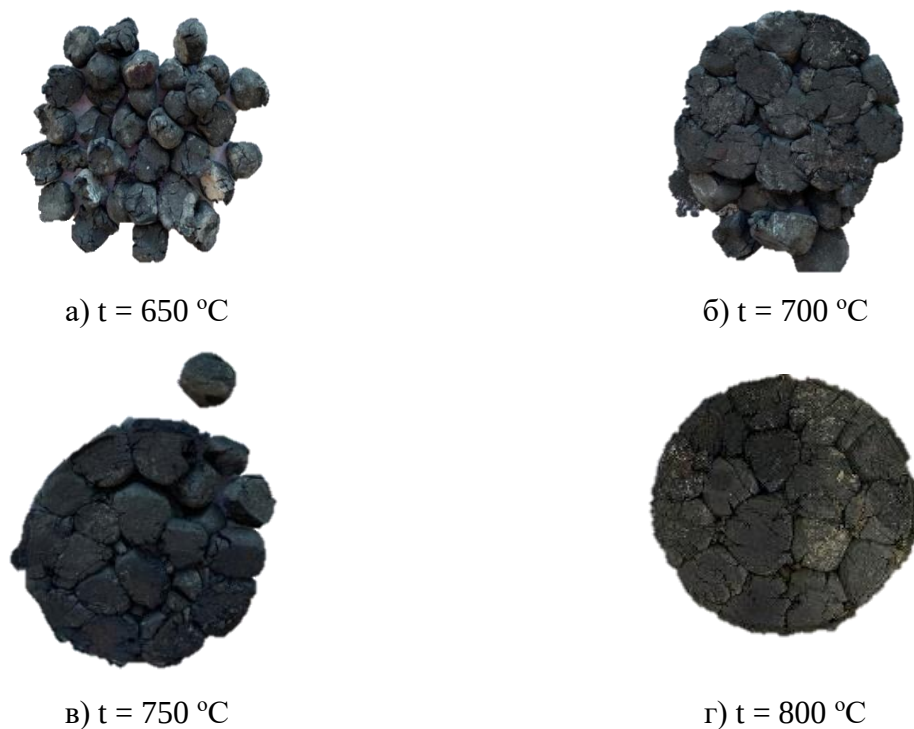


Рис. 1 – Результаты брикетирования металлизированных окатышей диаметром 13 – 14 мм при различных температурах нагрева

Следует отметить, что окатыши практически сохранили свой первоначальный диаметр, в плоскости перпендикулярной сжимающим нагрузкам, боковых пятен контакта практически не наблюдалось.

Исходя из того, что брикет рассыпался, можно сделать заключение, что данной площади контакта оказалось недостаточно, вероятно силы сцепления слишком малы.

При брикетировании материала, нагретого до $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, спрессованные окатыши удержались в форме брикета, отделилось только 4 окатыша. Круглые окатыши приобрели цилиндрическую форму, отчетливо заметно, как один окатыш «врезается» в другой, между окатышами появились боковые границы неправильной формы, что увеличивает площадь сцепления, более тесные контакты образуются в зонах частичного разрушения поверхности окатыша.

Диаметр окатышей по направлению сил сжатия уменьшился в 2 раза. При этом заметно, что в другой плоскости форма окатышей стала неправильной, заполняя первоначально свободные области между окатышами. Также следует отметить, что при прессовании окатыши не разрушаются на мелкие частицы, а происходят разрывы сферической поверхности.

При брикетировании материала, нагретого до температуры $750\text{ }^{\circ}\text{C}$, был получен более плотный образец, хотя степень сжатия окатышей по высоте была практически такой же, как и при нагреве материала до $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Характер деформации окатышей был уже другим: снизилось число разрывов по окружности окатыша, уменьшилось количество пустот между окатышами, что говорит о приобретении окатышами более высокой степени пластичности.

При увеличении температуры нагрева до 800 °С получили брикет, в котором сцепление между окатышами было более сильным, при высвобождении брикета из формы не отделилось ни одного окатыша, трещин стало значительно меньше (см. рис.2). Визуальное изучение боковых границ между окатышами показало, что при температуре 800 °С они становятся более прямолинейными, т.е. остается меньше пустот между ними.



Рис. 2 – Вид брикета, полученного при нагреве окатышей до температуры 800 °С

Заключение. По результатам выполненных экспериментов были сделаны следующие выводы:

1. С увеличением температуры брикетирования пластичность металлизированных окатышей возрастает, что обеспечивает увеличение площади контакта между окатышами в процессе брикетирования
2. Прочность брикета определяется силами сцепления между поверхностями окатышей и площадью контактов между дисперсными частицами.
3. Силы давления распределяются на число окатышей, контактирующих с поверхностью давящей нагрузки. При увеличении числа данных окатышей силы сжатия на окатыш уменьшаются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.И. Рудыка. Перспективы технологии прямого восстановления железа в металлургическом производстве. // Бюллетень «Черная металлургия» №11, 2017. с. 14-22.
2. Процессы вторичного окисления железа. [Текст]: учебное пособие / А.С. Тимофеева [и др.]. - Старый Оскол: ТНТ, 2019. 116 с. ил.
3. Тимофеева А.С., Никитченко Т.В. Исследование реакционной способности металлизированного продукта и поиск путей ее снижения. Металлург. №6. 2018г. с. 100 - 103.

4. Никитченко Т.В., Тимофеева А.С., Соплаков А.В. Влияние температуры брикетированного материала на прочность горячебрикетированного железа. Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 12. с. 1331-1337.

5. Дерягин Б. В., Кротова Н. А., Смилга В.П. Адгезия твердых тел. – М.: Наука, 1973, 279 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУВКИ СТАЛИ НА ХОЛОДНОЙ МОДЕЛИ

Новоточинов А.П.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
Тел.: +7 (999) 607-97-69; Email: alexander.nowotochinov@yandex.ru

Аннотация. В данной статье исследовался вопрос динамики сталеразливочного ковша в процессе продувки. Были рассмотрены вопросы связанные с методами усреднения химического состава и методов по удалению неметаллических включений из расплава в сталеразливочном ковше. Также приведены результаты экспериментов продувки на холодной модели при различных параметрах продувки. Представлен анализ экспериментальных данных и выбор оптимального режима продувки. Статья изложена на 4 страницах, которая содержит 2 рисунка, библиографический список состоит из 4 наименований.

Ключевые слова: исследование гидродинамики; процесс продувки; сталеразливочный ковш; застойные зоны; параметры продувки.

INVESTIGATION OF STEEL PURGING ON A COLD MODEL

Novotochinov A.P.

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
Tel.: +7 (999) 607-97-69; Email: alexander.nowotochinov@yandex.ru

Abstract. In this article, the issue of the dynamics of the steel filling bucket during the purging process was investigated. The issues related to the methods of averaging the chemical composition and methods for removing non-metallic inclusions from the melt in a steel ladle were considered. The results of purge experiments on a cold model with different purge parameters are also presented. The analysis of experimental data and the choice of the optimal purge mode are presented. The article is presented on 4 pages, which contains 2 figures, the bibliographic list consists of 4 titles.

Keywords: study of hydrodynamics; purging process; steel ladle; stagnant zones; purging parameters.

В современных условиях работы сталеплавильного производства плавление и доработка жидкого металла до нужного качества осуществляется в несколько этапов. Одним из важных этапов является обработка жидкого металла, связанная с продувкой жидкого расплава в сталеразливочном ковше. Данный этап является одним из сложных процессов, т.к. в него входят процессы, связанные с удалением неметаллических включений, добавление легирующих элементов и распределение их по всему объему.

В связи с тем, что внедрение научной новизны практически во все сферы промышленности требуют высокого качества стали, необходимо улучшать качества стали в самом начале цикла ее производства. Для улучшения стали необходимо сначала изучить металлургические процессы, а именно гидродинамику продувки стали в сталеразливочном ковше, изменяя которые можно достичь наивысшего качества конечного продукта.

Для этого были проведены исследования на изучение гидродинамики продувки стали в сталеразливочном ковше и подбора наилучших параметров продувки. Исследования процессов продувки осуществлялась на холодной модели, готовой установки INFUS, которая позволяет проводить эксперименты продувки стали максимально приближенные к реальным условиям по критериям подобия: масштабности и пропорциональности, которые подразумевают равенство геометрии [1], а также параметров продувки.

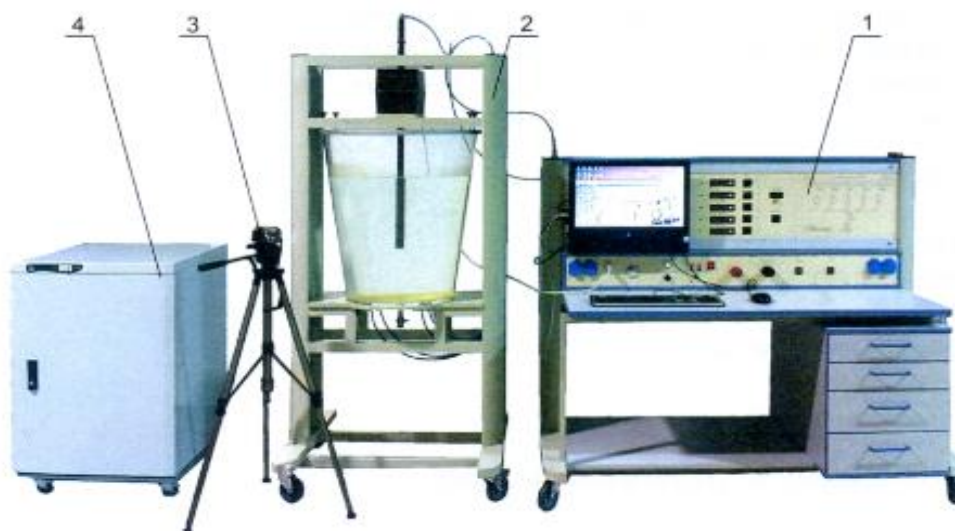


Рис. 1 – Общий вид исследовательской установки INFUS, виды продувочных устройств и их расположение

1 – базовый модуль (компьютер, устройства регулирования давления газа в технологических линиях, аналоговые датчики фиксации параметров); 2 – модельный модуль; 3 – модуль видеофиксации (скоростная промышленная видеокамера Baumer TXG04h (200 кадров в секунду)); 4 – компрессор

В исследовании гидродинамики на холодной модели, установка позволяет осуществлять продувку через донные блоки и верхнюю погружную фурму. Донные сопла (пробки) имеют диаметр 20 мм, несколько комплектов пробок с различным количеством и диаметром выходных отверстий. В исследовании при текущих параметрах расчета были задействованы пробки с диаметром отверстий 0,3 мм и 0,5 мм, количество отверстий в первом и во втором случае 20.

При расчете теории подобия, было установлено, что для пробки с 20 отверстиями диаметром 0,3 мм, расход воздуха должен составлять 0,45; 0,55; 1,1 л/мин, для пробки с 20 отверстиями диаметром 0,5 мм, расход составляет 0,45; 0,55; 1,1; 1,6; 2,4 л/мин.

В качестве моделирующей жидкости была выбрана вода, для отслеживания потока воды при продувке за основу выбран гидроксид калия (КОН).

Время продувки определялось экспериментально, до полной однородности концентрации КОН в воде, которое составляла от 60 мин до 80 мин, в зависимости от расхода продувочного газа.

Для исследования гидродинамики продувки в сталеразливочном ковше необходимо было проводить эксперименты с различными вариантами продувочных фурм. Осуществлялась продувка с помощью одной и двумя нижними продувочными фурмами, а также двумя продувочными фурмами, одна из них осуществлялась с верха, для большего захвата площади потока жидкости.

На первом этапе были проведены эксперименты по получению гидродинамики продувки через одну пробку с различным диаметром отверстий ($d = 0,3$ мм и $d = 0,5$ мм) и разными расходами на продувку 0,9 л/мин и 1,1 л/мин, 1,6 л/мин, 2,4 л/мин.

На втором этапе были проведены эксперименты по получению гидродинамики продувки через одну пробку снизу с диаметром отверстий ($d = 0,3$ мм), расходом на продувку 1,1 л/мин и верхней погружной фурмы с расходом на продувку 3,0 л/мин.

На третьем этапе были проведены эксперименты по получению гидродинамики продувки с помощью двух нижних продувочных пробок с различным диаметром отверстий ($d = 0,3$ мм и $d = 0,5$ мм) и разными расходами на продувку 0,45 л/мин и 0,55 л/мин.

В процессе выполнения экспериментов было выявлено, что образуются застойные зоны в некоторых местах модели. В процессе продувки, после достижения некоторого относительного усреднения хим. состава на некоторое время было отключена продувка. После, того как поток «круговорота» в модели сталеразливочного ковша был остановлен и процесс продувки снова был запущен с теми же параметрами продувки, через некоторое время было достигнута полное усреднение химического состава жидкости в модели.

Анализируя результаты экспериментов при различных параметрах продувки, можно определить процентное содержание застойных зон при различных параметрах продувки.

После того, как были изучены результаты экспериментов при продувке с различными параметрами продувочных блоков и расхода воздуха, был определен режим продувки, при котором результаты являются максимальными.

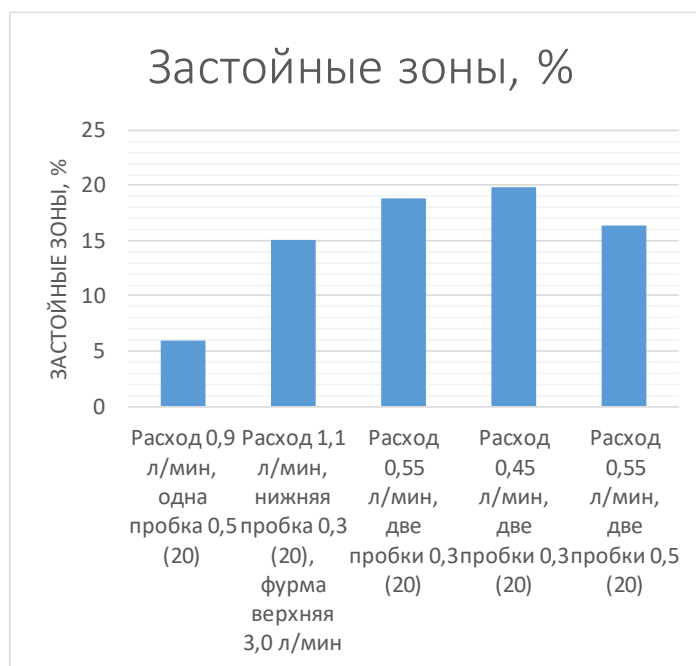


Рис. 2 – Процентное содержание застойных зон при различных параметрах продувки

Самые лучшие результаты оказались при продувке через один донный продувочный блок (диаметром 0,5 мм) с расходом продувки 0,9 л/мин. В данном случае процентное содержание застойных зон наименьшее, что приведет к повышению качества выплавляемой стали. Для применения данного метода в ДСП-150 можно посчитать реальные параметры по критериям подобия, выполнив расчет в обратной последовательности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физические процессы в конвертере и энергоэкологические показатели производства: монография / Э.Э. Меркер. – Старый Оскол: ТНТ, 2015. – 328 с.
2. Дюдкин, Д. А. Производство стали / Д.А. Дюдкин. Т.3 : Внепечная металлургия стали/Д.А.Дюдкин, В.В.Кисиленко. - М.: Теплотехник, 2010. – 544 с.
3. Эффективность различных способов раскисления стали при внепечной обработке / С.В. Виноградов и др. // Электromеталлургия. - 2004. - № 6. - С. 21-23.

4. Физическое моделирование движения жидкой стали в промежуточном ковше МНЛЗ при донной продувке инертным газом / А.С. Эльдарханов и др. // Сталь. - 2018. - № 3. - С. 14-17.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ВЫТЯЖКОЙ И СТЕПЕНЬЮ УПЛОТНЕНИЯ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ МЕДИ В ПРОЦЕССЕ ПРОКАТКИ КАТАНКИ

Парпиев Д.Б., Турсунбоев Б.Ф.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
21d15sh@gmail.com*

Аннотация. *Представлены результаты исследования взаимосвязи между вытяжкой и степенью уплотнения литой структуры меди в процессе прокатки катанки на непрерывном агрегате литья-прокатки PROPERZI. Исследование выполнялось на темплетах непосредственно вырезанных из технологической линии во время остановки прокатного стана. В результате проведенных исследований статистически обоснована зависимость между величиной вытяжки за проход и повышением плотности металла. Установлен режим обжатий, который будет обеспечивать лучшее уплотнение литой структуры и меньшее количество пор в готовой катанке.*

Ключевые слова: медная катанка; литая структура; вытяжка; прокатный стан; PROPERZI; уплотнение; гидростатическое взвешивание.

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE ELONGATION AND THE DEGREE OF COMPACTION OF THE CAST STRUCTURE OF COPPER IN THE PROCESS OF ROLLING WIRE ROD

Parpiev D.B., Tursunboev B.F.

*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*

Abstract. *The results of the study of the relationship between the elongation and the degree of compaction of the cast structure of copper in the process of rolling wire rod on a continuous casting-rolling unit PROPERZI are presented. The study was carried out on templets directly cut from the processing line during the stop of the rolling mill. As a result of the conducted studies, the dependence between the elongation per pass and the increase in metal density is statistically*

substantiated. The compression mode has been set, which will provide better compaction of the cast structure and fewer pores in the finished wire rod.

Keywords: copper wire rod; cast structure; elongation; rolling mill; PROPERZI; compaction; hydrostatic weighing.

Требования к качеству металла непрерывно повышаются. Особенно это касается сталей и сплавов цветных металлов, использующихся в электротехнической промышленности [1]. Хорошая проработка литой структуры обеспечивает повышение качества осевой зоны катанки, что приводит к уменьшению ее обрывности в процессе волочения [2]. Однако в условиях региональных производителей часто стремятся удешевить процесс производства продукции за счет исключения некоторых составляющих технологического процесса [3]. В этом случае возможности повышения качества металла остаются только на этапе пластической деформации [4]. Особенно это касается совмещенных агрегатов непрерывного литья и прокатки [5-7]. Также многое будет зависеть от выбранной системы калибровки, от того используются на стане двухвалковые или трехвалковые клетки и т.д [8]. Поэтому изучение процессов уплотнения литой структуры меди в процессе прокатки катанки является актуальной задачей.

Методика проведения исследования

Плотность материала можно использовать как количественный критерий оценки поврежденности металла внутренними дефектами сплошности [9]. В ходе прокатки имеющаяся в исходных непрерывнолитых заготовках пористость заваривается, а плотность материала увеличивается. В следствие чего плотность материала можно считать мерой выкатки таких дефектов непрерывнолитого металла как газовые поры и раковины [10-12].

Для измерения плотности можно использовать метод гидростатического взвешивания [13, 14].

Для исследования использовали медные темплеты толщиной 15 мм, которые были отобраны во время остановки литейно-прокатного агрегата PROPERZI после каждой клетки прокатного стана.

Исследовались две калибровки с различными параметрами. Таким образом было два комплекта темплетов № 1 и № 2, которые соответствовали режиму деформирования № 1 и № 2, которые отличались распределением вытяжек между клетями.

Для проведения испытаний на определение плотности использовали высокоточные весы ВЛЭ-1023CI с комплектом для гидростатического взвешивания SHIMADZU SMK-101. Образцы по одиночке подвергали гидростатическому взвешиванию. подробно методика проведения исследования описана в работе [15].

Довольно интересным представляется исследование, позволяющее связать степень деформации (относительное обжатие, вытяжку) с величиной изменения плотности (и соответственно пористости). В этом случае можно будет рекомендовать режим обжатий, который будет способствовать максимальному увеличению плотности (и соответственно максимальному сокращению пористости).

Значения вытяжек по проходам прокатного стана брали из данных работы [16]. Значения вытяжек по проходам и соответствующие им значения измеренной плотности темплетов представлены в таблице 1.

Для перевода данных в безразмерный вид были рассчитаны относительные изменения плотности за каждый проход. Для уменьшения влияния единичных обжатий на общий результат экстремальные значения откидывались.

Таблица 1 – Взаимосвязь единичных вытяжек и плотности

№ темплета	Комплект №1		Комплект №2	
	Вытяжка, дол. ед.	Плотность, г/см ³	Вытяжка, дол. ед.	Плотность, г/см ³
1	1,147	8,818	1,389	8,811
2	1,283	8,887	1,273	8,886
3	1,109	8,897	1,232	8,911
4	1,364	8,916	1,102	8,904
5	1,262	8,917	1,118	8,908
6	1,281	8,922	1,268	8,908
7	1,237	8,925	1,282	8,907
8	1,271	8,921	1,200	8,914
9	1,306	8,923	1,238	8,921
10	1,187	8,924	1,160	8,917
11	1,287	8,933	1,284	8,920
12	1,230	8,935	1,248	8,926
13	1,232	8,936	1,299	8,929
14	1,222	8,949	1,318	8,936
15	1,306	8,956	1,244	8,947

Результаты и их обсуждение

Зависимость относительного изменения плотности от вытяжки для комплекта №1 представлена на рис. 1.

Из зависимости видно, что связь между этими величинами есть. И если ее описать полиномиальной зависимостью, то коэффициент детерминации достаточно высок $R^2 = 0,81$. В целом чем больше коэффициент вытяжки тем больше увеличение плотности и соответственно сокращение пористости. Для условного уплотнения за проход в 0,05% необходимо обеспечивать вытяжку 1,28 и более за проход.

Зависимость относительного изменения плотности от вытяжки для комплекта №2 представлена на рис. 2.

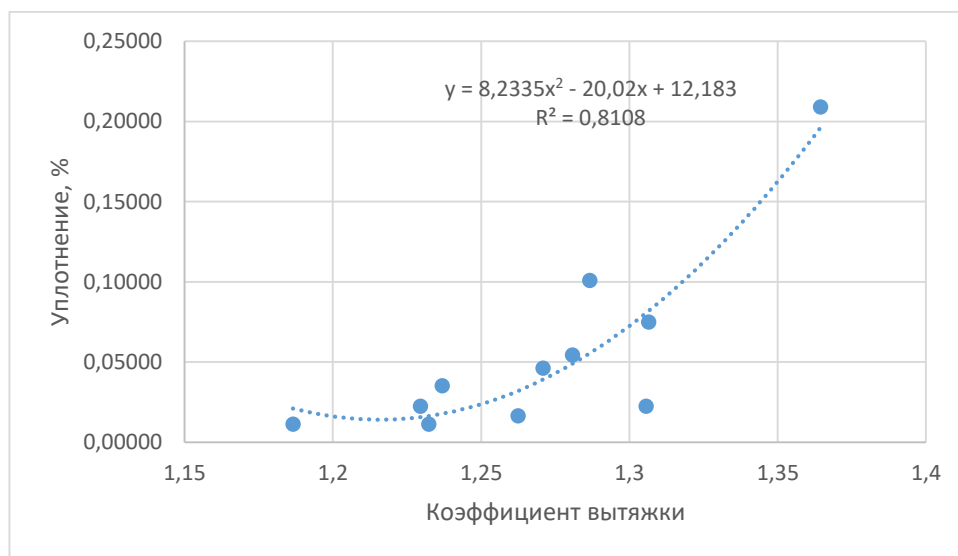


Рис. 1 – Зависимость относительного изменения плотности от вытяжки для комплекта №1

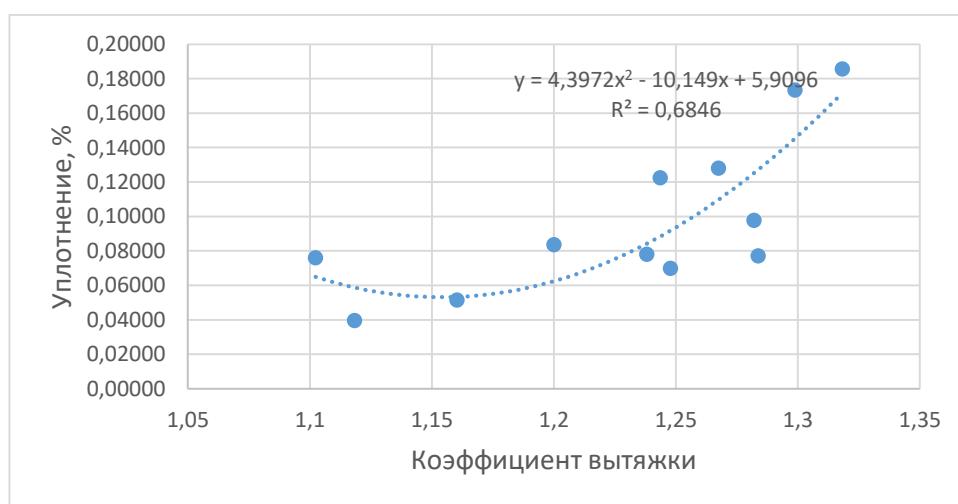


Рис. 2 – Зависимость относительного изменения плотности от вытяжки для комплекта №2

Из зависимости на рис. 2 видно, что связь между изменением плотности и единичной вытяжкой есть. И если ее описать полиномиальной зависимостью, то коэффициент детерминации находится на достаточном уровне $R^2 = 0,68$ (его достаточно легко повысить

просто увеличив порядок до 4-х). В целом чем больше коэффициент вытяжки, тем больше увеличение плотности и соответственно сокращение пористости. Но по сравнению с комплектом №1 при похожих значениях вытяжек обеспечиваются большие увеличения плотности и сокращения пористости. Для условного уплотнения за проход в 0,08% повышать вытяжку не обязательно, она достигается и при значениях вытяжек 1,2.

Таким образом режим обжатий №2 будет обеспечивать лучшее уплотнение литой структуры и меньшее количество пор в готовой катанке. Поэтому с целью обеспечения лучшего качества готовой продукции следует рекомендовать именно его.

Вывод. Проведенное исследование по определению плотности медных темплетов, вырезанных из каждой клетки прокатного стана и соответствующих двум режимам деформирования показало, что присутствует зависимость между величиной вытяжки за проход и повышением плотности металла. Доказано, что среди исследуемых режимов деформации, режим обжатий №2 позволяет получать большее относительно уплотнение структуры при меньших вытяжках (более 1,2).

Таким образом режим обжатий №2 будет обеспечивать лучшее уплотнение литой структуры и меньшее количество пор в готовой катанке. Поэтому с целью обеспечения лучшего качества готовой продукции следует рекомендовать именно его.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яценко С.П., Скачков В.М. Повышение качества алюминиевых сплавов электротехнического назначения // В книге: XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Тезисы докладов в 5 томах. Уральское отделение Российской академии наук. - 2016. - С. 131.
2. Битков В.В. Минимизация обрывности при волочении проволоки тонких размеров из цветных металлов // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. - 2010. - № 2. - С. 45-51.
3. Complete evaluation of extruded aluminum section and semiproduct mechanical properties under conditions of typical regional manufacturer ALTEK / Smirnov E.N., Sklyar V.A., Smirnov O.E., Mitrofanov M.V., Belevitin V.A., Smirnov A.N. // Metallurgist. - 2018. - Т. 61. - № 9-10. - С. 878-883.
4. Смирнов Е.Н., Скляр В.А., Белевитин В.А., Смирнов А.Н., Пивоваров Р.Е. Совершенствование деформационного режима прокатки сортовых профилей из конструкционных марок стали в условиях непрерывного стана // Производство проката. - 2018. - № 8. - С. 19-25.

5. Попс Х. Изготовление проволоки – из древности в будущее // Компоненты и технологии. 2009. №7. С.140 – 146.
6. Ю.В. Горохов, С.В. Беляев И.В. Усков, И.Ю. Губанов А.А. Косович Развитие совмещенного непрерывного процесса литья и прессования Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 4. 2014. №7. С. 436-442.
7. Постыляков А.Ю., Логинов Ю.Н. Особенности процессов производства медной катанки // Инновационные технологии в металлургии, 2014. - С. 320-324.
8. Скляр В.А., Самойлова Т.Д. Деформационное состояние в процессе прокатки квадратного подката в овальном калибре в клетях черновой группы непрерывного сортового стана // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство материалы тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Том I, 23-25 ноября 2016 г. - С. 124-131.
9. Влияние пластической деформации на плотность непрерывнолитой стали / В.В. Лиманкин и др. // Производство проката. - 2010. - № 6. - С.16-19.
10. Инатович Ю.В., Перунов Г.П., Лиманкин В.В. Влияние кантовок раскатов на плотность непрерывнолитой стали / Материалы 1 международной интерактивной научно-практической конференции «Инновации в материаловедении и металлургии». Екатеринбург: Издательство Уральского университета. - 2012. - С.98-101.
11. Смирнов Е.Н., Скляр В.А., Смирнов О.Е., Белевитин В.А., Пивоваров Р.Е. Исследование поведения дефектов макроструктуры предварительно деформированной в линии МНЛЗ непрерывнолитой сортовой заготовки при прокатке // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 61. № 5. С. 399-406.
12. Белевитин, В.А. Моделирование пластического формоизменения металлических заготовок: коллективная монография / В.А. Белевитин, А.В. Суворов, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов // Итоги науки. Избранные труды Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий. Том 1. - М.: РАН, 2014. - С. 175-199.
13. Технология физического эксперимента: гидростатическое взвешивание / Горяев М.А. Донской государственный технический университет. 2017. С. 277-278.
14. Моделирование задачи: Определение плотности гидростатическим взвешиванием / Кириллова К.И. Ответственный редактор - С.Ю. Широкова. 2018. С. 484-486.
15. Скляр В.А., Турсунбоев Б.Ф., Парпиев Д.Б. Исследование уплотнения литой структуры меди в процессе прокатки катанки с помощью метода гидростатического взвешивания // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. XVII Всероссийская научно-практическая конференция. - Старый Оскол. - 2021. - С. 87-91.

16. Парпиев Д.Б., Склад В.А. Анализ проработки макроструктуры во время прокатки медной катанки // Colloquium-journal. - 2018. - №12(23). - С. 28-30.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОГНЕУПОРНОГО БЕТОНА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ
АРМАТУРНОГО СЛОЯ ФУТЕРОВКИ СТАЛЬКОВШЕЙ**

Сазонов А.В., Кочергина И.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
e-mail: shiller82@mail.ru*

***Аннотация.** В статье представлен анализ изменения массы огнеупорного боя (лома), расхода природного газа и уменьшения выбросов парниковых газов (CO_2 и $\text{H}_2\text{O}_{(г)}$) при выполнении арматурного слоя футеровки стальной из огнеупорного бетона взамен штучных огнеупорных изделий.*

Ключевые слова: парниковый газ; режим сушки; количество перефутеровок; объем сжигаемого природного газа; огнеупорный лом (бой).

**ENERGY AND ENVIRONMENTAL ASPECTS
THE USE OF REFRACTORY CONCRETE WHEN PERFORMING
REINFORCEMENT LAYER OF STEEL LINING**

Sazonov A.V., Kochergina I.N.

*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*

***Abstract.** the article presents an analysis of changes in the mass of refractory concrete (battle), the consumption of natural gas and the reduction of greenhouse gas emissions (CO_2 and $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$) when performing a reinforcing layer of steel lining made of refractory concrete instead of piece refractory products*

Keywords: greenhouse gas; drying mode; number of refutations; volume of natural gas burned; refractory scrap (battle)

«Регулирование выбросов парниковых газов (CO_2 , $\text{H}_2\text{O}_{(г)}$ и др.) в настоящее время становится распространенным элементом энергетической и экономической политики в нашей

стране. Оно служит как непосредственно целям сокращения выбросов и выполнения международных обязательств, так и решения ряда внутренних экономических и отраслевых задач» [1]. Немаловажным аспектом в настоящее время является также уменьшение количества отходов металлургического производства, в частности, огнеупорного лома (боя), который образуется в результате различных технологических процессах в металлургической отрасли [2].

На одном из металлургических предприятий для выполнения арматурного слоя днища и стен сталковшей применяют шамотные, муллитокорундовые штучные огнеупоры, а также огнеупорный бетон (выравнивающий слой днища).

При этом процесс сушки арматурного слоя производится следующим образом: 1 ч с расходом природного газа 75 м³/ч, 1 ч с расходом природного газа 140 м³/ч, 4 ч с расходом природного газа 200 м³/ч. Соответственно, время сушки составляет около 6 ч.

Стойкость такого арматурного слоя в среднем составляет около 313 плавов. Зная расходы природного газа и длительность сушки, рассчитали объем природного газа на одну сушку - 1015 м³.

Зная производительность предприятия по выплавленной стали, среднюю стойкость арматурного слоя и массу металла в сталковше можно рассчитать количество перефутеровок арматурного слоя при ее изготовлении из штучных огнеупоров – количество перефутеровок составило 77.

Рассчитали общий объем сожженного природного газа (исходя из количества перефутеровок и объема природного газа на одну сушку). Эта величина составила 78155 м³/год.

При выполнении арматурной футеровки штучными огнеупорами в процессе ломки изношенной футеровки образуется огнеупорный лом (бой).

Общая масса этого лома (боя) при этом составляет около 21,4 т – это при одной перефутеровке. Этот лом (бой) частично используется для нужд предприятия – большая его часть подлежит захоронению на специальном полигоне, нанося вред окружающей среде. Общая масса лома (боя), исходя из количества перефутеровок, составила 1647,8 т/год.

Анализ литературных источников [3, 4] показывает, что в металлургии растет значение доли применения неформованных огнеупоров, в частности огнеупорных бетонов. Преимущества использования огнеупорных бетонов показаны на рис. 1.

Далее в статье приводится оценка экологической и энергетической эффективности использования огнеупорного бетона для выполнения арматурного слоя, основным компонентом которого является минерал андалузит [5, 6].

Стойкость такой монолитной футеровки арматурного слоя по данным предприятия изготовителя [6] составляет 1100 плавок, что существенно выше, чем при ее изготовлении из штучных огнеупоров. Однако, имеются некоторые особенности использования такого бетона.



Рис. 1 – Преимущества использования огнеупорных бетонов (на основе данных [3, 4])

Важным параметром при сушке огнеупорного бетона является скорость повышения температуры ($V, ^\circ\text{C}/\text{ч}$) с целью избегания растрескивания бетонной футеровки. Для огнеупорного бетона в соответствии с данными предприятия – изготовителя бетона рекомендуется [6] следующий график сушки: 8 ч с расходом природного газа $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ (скорость повышения температуры $15 ^\circ\text{C}/\text{ч}$), выдержка 16 ч с расходом природного газа $10 \text{ м}^3/\text{ч}$, 8 ч с расходом природного газа $90 \text{ м}^3/\text{ч}$ (скорость повышения температуры $25 ^\circ\text{C}/\text{ч}$), выдержка 16 ч с расходом природного газа $15 \text{ м}^3/\text{ч}$, 8 ч с расходом природного газа $150 \text{ м}^3/\text{ч}$ (скорость повышения температуры $40 ^\circ\text{C}/\text{ч}$), выдержка 8 ч с расходом природного газа $20 \text{ м}^3/\text{ч}$. Время сушки составляет 64 ч при общем объеме сожженного природного газа $2960,0 \text{ нм}^3$ [6].

За счет увеличения стойкости (1100 плавок) и сохранении производительности предприятия количество перефутеровок составит 22. При этом общий объем сожженного природного газа в год составляет $65120 \text{ нм}^3/\text{год}$.

Масса огнеупорного лома (боя) при использовании огнеупорного бетона составляет около 17,22 т.

Нетрудно рассчитать, что при данном количестве перефутеровок (22 перефутеровки) и массе огнеупорного лома (боя) при одной перефутеровке (17,22 т) общая масса составит 378,84 т/год.

Оценка уменьшения массы огнеупорного лома (боя) при использовании двух вариантах футеровки арматурного слоя проводилось исходя из ранее рассчитанных его масс:

$$1647,8 - 378,84 = 1268,96 \text{ т/год.}$$

На такую массу уменьшится масса огнеупорного лома (боя), что положительным образом повлияет на экологическую обстановку в зоне расположения предприятия.

Анализируя объемы сжигаемого природного газа в год можно сказать, что объем изменится на следующую величину:

$$78155 - 65120 = 13035,0 \text{ нм}^3 \text{ в год.}$$

На основе анализа данных, представленных в [7], можно сказать, что при сжигании 100 м³ газа образуется 1204,6 м³ дымовых газов (100,6 нм³ CO₂ (9,6 %), 119,2 нм³ H₂O (18,9 %), остальное N₂ и O₂). Объем, образующихся дымовых газов уменьшится на:

$$13035,0 \cdot 0,01 \cdot 1204,6 = 157019,61 \text{ нм}^3$$

Объем выбросов CO₂ уменьшится на:

$$102088233,9 \cdot 9,6 \cdot 0,01 = 15073,88 \text{ нм}^3$$

Объем выбросов H₂O_(г) уменьшится на:

$$102088233,9 \cdot 18,9 \cdot 0,01 = 29676,70 \text{ нм}^3$$

Это позволит снизить содержание CO₂ и H₂O_(г) в атмосфере на прилегающей территории предприятия.

В заключении по вышеизложенному в статье, можно сказать, что использование огнеупорного бетона на основе минерала андалузит взамен штучных огнеупоров при выполнении арматурного слоя футеровки стальковшей позволит уменьшить на 1268,96 т/год массу огнеупорного лома (боя), уменьшит объем сжигаемого природного газа на 13035,0 нм³ в год. При этом объемы парниковых газов уменьшаться на следующую величину: для CO₂ на 15073,88 нм³, для H₂O_(г) на 29676,70 нм³. Это положительным образом скажется на экологической ситуации на территории, где расположено металлургическое предприятие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года - Режим доступа <http://www.minenergo.gov.ru> / (дата обращения: 25.11.21)
2. Экология металлургического производства: материальные и топливные ресурсы металлургии: учебное пособие / Ю.С. Юсфин, Н.Ф. Пашков, П.И. Черноусов [и др.]. - М. : МИСИС, 2003. - 76 с.

3. Мировой рынок: куда движется огнеупорная отрасль - Режим доступа <http://www.ukrmet.dp.ua/> (дата обращения: 25.11.21)
4. Смирнов, А.Н. Перспективы развития огнеупорных материалов и изделий, используемых для выплавки, доводки и разливки стали / А.Н. Смирнов - Режим доступа <http://www.steeltimes.ru/> (дата обращения: 25.11.21)
5. Высокоглиноземистые огнеупоры с повышенным техническим ресурсом на основе андалузита / В.П. Мигаль и др. // Новые огнеупоры. – 2009. - №2. - С. 13-19
6. Официальный сайт компании Кералит - Режим доступа <http://www.keralit.com/> / (дата обращения: 25.11.21)
7. Расчеты металлургических печей : справочное издание: в 2 томах. Т.2 : Под общ. ред. д-ра технических наук проф. В.И. Тимошпольского, д-ра технических наук проф. В.И. Губинского. - М. : Теплотехник, 2011. - 544 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА УПАКОВОЧНОЙ БУМАГИ НА КОРРОЗИЮ ПРЕССОВАННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОФИЛЕЙ

Скляр В.А, Смирнов Е.Н., Парпиев Д.Б.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
konfor1@yandex.ru*

Аннотация. Рассмотрены причины коррозии алюминиевых профилей, возникающей во время транспортировки и хранения. Анализ дефектов, выявленных методами световой микроскопии на готовом алюминиевом профиле после анодирования позволили сделать вывод о атмосферном характере данной коррозии, причем коррозия происходит в основном в местах контакта с упаковочной бумагой. Приведены условия проведения эксперимента с целью оценки влияния вида упаковочной бумаги на процесс коррозии алюминиевых профилей, упакованных в пакет для транспортировки и хранения.

Ключевые слова: прессованный алюминиевый профиль; атмосферная коррозия; качество продукции; упаковка; бумага; анодирование.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE TYPE OF PACKAGING PAPER ON THE CORROSION OF PRESSED ALUMINUM PROFILES

Skliar V.A., Smyrnov Y.N., Parpiev D.B.

*Sary 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, Sary Oskol, microdistrict named after Makarenko, 42*

Abstract. The causes of corrosion of aluminum profiles occurring during transportation and storage are considered. The analysis of defects detected by light microscopy methods on the finished aluminum profile after anodizing allowed us to conclude about the atmospheric nature of this corrosion, and corrosion occurs mainly in places of contact with packaging paper. The conditions of the experiment are given in order to assess the effect of the type of packaging paper on the corrosion process of aluminum profiles packed in a bag for transportation and storage.

Keywords: pressed aluminum profile; atmospheric corrosion; product quality; packaging; paper; anodizing.

Рынок алюминиевых профилей в России постоянно расширяется и производство растет [1-3]. В последнее время обострились проблемы, связанные с коррозией алюминиевых профилей, которая происходит во время транспортировки от потребителя к заказчику и хранении [4, 5]. Особенно это проявляется в том случае, когда в дальнейшем они подвергаются анодированию [6]. Особенно это проявляется в условиях мелких региональных производителей [7-9]. Несмотря на то, что ГОСТ 9.510-93 «Полуфабрикаты из алюминия и алюминиевых сплавов. Общие требования к временной противокоррозионной защите, упаковке, транспортированию и хранению» достаточно полно регламентирует процедуры временной противокоррозионной защиты, упаковки, транспортировки и хранения для всех производителей, произошедшие за последние 20-30 лет изменения в нормах проектирования и перепрофилирования промышленных зданий и сооружений под новые задачи, а также тенденции глобального потепления привели к тому, что выполнение требований ГОСТ 9.510-93 на стадии запуска и начальной эксплуатации мелких и средних региональных производителей прессованных алюминиевых профилей носит весьма проблемный характер [10, 11].

В свете вышеизложенного, разработка подходов к временной противокоррозионной защите, упаковке, транспортированию и хранению для многих мелких и средних региональных производителей прессованных алюминиевых профилей носит весьма актуальный характер подчеркиваемый требованиями снижения себестоимости продукции и повышения ее конкурентоспособности.

Постановка задачи

В вопросе выявления причин такого вида коррозии алюминиевых профилей следует выделить следующие. Известно, что ГОСТ 4784-97 допускает содержание в сплаве АД31 Fe до 0,5%. Данное расширение было внесено в данный нормативный документ в 2000 году: допустимые примеси по железу увеличены с 0,35% до 0,5%. Принятие данной нормы было обусловлено тенденцией возрастания загрязненности оборотного лома примесями. При этом, как известно, наличие железных примесей в таких соотношениях практически не влияет на механические свойства алюминиевых сплавов [12]. Однако, с увеличением содержания примесей — железа, кремния и меди, коррозионная стойкость алюминия и его сплавов снижается. Таким образом, для профилей, подвергаемых в дальнейшем анодированию, следует ограничить содержание Fe.

Также особое внимание следует уделять мероприятиям по минимизации воздействия запыленных масс воздуха плавильного отделения и отделения отделки и упаковки. Проведенные наблюдения показали, что при выпуске плавки в плавильном отделении на

готовом прокате, лежащем на холодильнике после прессования, наблюдается оседание налета. Присутствие налета, осевшего во время межоперационного хранения, также может быть причиной коррозии поскольку подобная ситуация в корне идет в разрез с правилами по хранению алюминиевых профилей:

- В сухом месте. Хранить профили нужно только в чистом месте внутри здания.
- Накрывать сверху. Хранить профили накрытыми сверху настолько это возможно. Это предотвратит профили от накопления на них пыли и грязи.
- Вентиляция. Помещение для хранения профилей должно хорошо вентилироваться. Вентиляция помогает держать профили сухими.

Также большое значение имеет порядок упаковки алюминиевых профилей в пакет для последующего хранения и транспортировки, а также используемые при этом материалы, поскольку коррозия часто наблюдается в местах контакта профиля с упаковочной бумагой [13].

Таким образом, целью работы было оценить влияние вида упаковочного материала на возникающую коррозию алюминиевых профилей.

Методика проведения исследования

Исследование дефектов проводилось на образцах продукции, которая была возвращена на предприятие по рекламации. На поверхности анодированного алюминиевого профиля наблюдались скопление точечных дефектов. Поскольку наблюдалась ярко выраженная локализация дефектов в определенных местах, было высказано предположение, что дефекты возникают в местах контакта с упаковочной бумагой. Образцы исследовались на инвертированном металлургическом микроскопе Meiji Techno IM7210.

Для исследования влияния типа упаковочного материала на возникающую коррозию алюминиевых профилей был реализован эксперимент в следующей последовательности.

Образцы бумаги во влажном состоянии помещались между пластинами алюминиевого профиля из сплава АД31, таким образом образовывался «пакет», который скреплялся зажимами (рис. 1). Пластины предварительно взвешивались. После чего пакет помещался в эксикатор (рис. 2) на две недели (средний срок транспортирования и хранения до проведения анодирования). После извлечения из эксикатора производилось взвешивание пластин и изучение образовавшихся мест коррозии с помощью металлографического микроскопа.

Расчет скорости коррозии в $\text{мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ производили по формуле:

$$v = \frac{\Delta m}{S \cdot t} \quad (1)$$

где v – скорость коррозии,

Δm – изменение массы пластин, мг

S – площадь поверхности, м²

t – время, ч

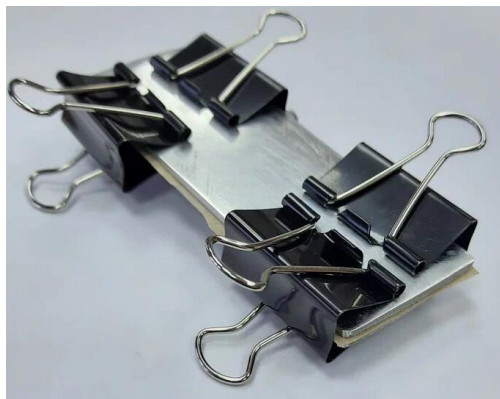


Рис. 1 – Пакет для испытания на коррозию



Рис. 2 – Эксикатор с «пакетом»

Результаты и их обсуждение

Фотографии дефектов, найденных на готовом алюминиевом профиле после анодирования представлены на рис 3.

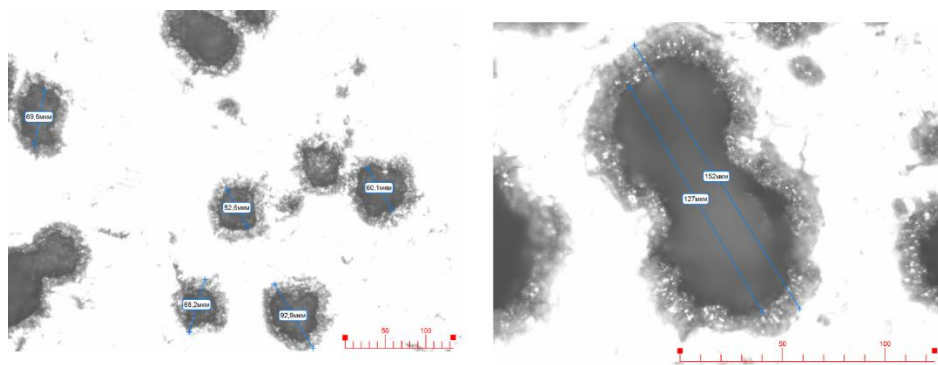


Рис. 3 – Следы коррозии на алюминиевом профиле, x200

Как видим, дефекты имеют форму, приближенную к кругу, в некоторых случаях дефекты срастаются в «колонии». Размеры дефектов от 50 до 100 микрон. Дефекты имеют неровные растравленные края что позволяет сделать вывод о влиянии кислот. Вид дефектов и условия их появления соответствуют так называемой «бумажной» коррозии, которая проявляется как раз в местах контакта профилей с упаковочной бумагой в условиях повышенной влажности при упаковке, транспортировке и хранении [14, 15].

Таким образом, дальнейшие исследования по устранению данных дефектов необходимо вести в области установления влияния упаковочных материалов на коррозию алюминиевых профилей.

Вывод. Анализ дефектов, выявленных методами световой микроскопии на готовом алюминиевом профиле после анодирования позволили сделать вывод о атмосферном характере коррозии, причем коррозия происходит в основном в местах контакта с упаковочной бумагой. Поэтому имеет смысл говорить о коррозии, которая в иностранной литературе называется «бумажной». Разработан и проведен эксперимент, который позволил оценить влияние вида упаковочной бумаги на процесс коррозии алюминиевых профилей, упакованных в пакет для транспортировки и хранения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аджимамбетова З.С. Современные проблемы развития мирового рынка алюминия // Национальные экономические системы в контексте формирования глобального экономического пространства. Сборник научных трудов. В 2-х томах. Под общей редакцией З.О. Адамановой. 2019. С. 218-221.
2. Токарев В.О. Основные мировые тренды на рынке алюминия и их влияние на экономику России // Конкурентоспособность территорий. Материалы XXII Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов. В 5-ти частях. Ответственные за выпуск Я.П. Силин, Е.Б. Дворядкина. 2019. С. 179-181.

3. Нестерова С.И., Каграманова А.А. Анализ операционной деятельности и перспективы развития крупнейшего мирового производителя алюминия Русал // Стратегическое развитие социально-экономических систем в регионе: инновационный подход. материалы VI международной научно-практической конференции : сборник статей и тезисов докладов. Владимир, 2020. С. 409-414.

4. Махсудова М.С. Коррозия низколегированных сплавов на основе систем алюминий - магний - щелочноземельный металл. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук / Институт химии им. В.И. Никитина академии наук Республики Таджикистан. Душанбе, 2009. 127 с.

5. Денисов А.А. Влияние локальной коррозии на деградацию механических свойств алюминий-магниевого сплава АМГ6 // XIV Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов "Физико- химия и технология неорганических материалов" (с международным участием). Сборник трудов. 2017. С. 492-494.

6. Влияние минимизации системы технологий мелких и средних региональных производителей прессованных алюминиевых профилей на развитие процессов коррозии готовой продукции Смирнов Е.Н., Щукин В.Б., Скляр В.А., и др. // Коррозия: материалы, защита. 2018. № 11. С. 13-20.

7. Complete evaluation of extruded aluminum section and semiproduct mechanical properties under conditions of typical regional manufacturer ALTEK / Smirnov E.N., Sklyar V.A., Smirnov O.E., Mitrofanov M.V., Belevitin V.A., Smirnov A.N. // Metallurgist. - 2018. - Т. 61. - № 9-10. - С. 878-883.

8. Smyrnov Y., Skliar V., Parpiev D. Evaluating plasticity of alloy AD31 on ingot height // Solid State Phenomena. 2021. Т. 316. С. 461-467.

9. Сквозная оценка механических свойств полупродукта и прессованных алюминиевых профилей в условиях типового регионального производителя ООО «АЛТЕК» / Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, М.В. Митрофанов, О.Е. Смирнов, В.А. Белевитин, А.Н. Смирнов // Металлург. 2017. -№ 10. -С. 49-53.

10. ГОСТ 9.510-93 Полуфабрикаты из алюминия и алюминиевых сплавов. Общие требования к временной противокоррозионной защите, упаковке, транспортированию и хранению.

11. Яценко С.П., Скачков В.М. Повышение качества алюминиевых сплавов электротехнического назначения // В книге: XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Тезисы докладов в 5 томах. Уральское отделение Российской академии наук. - 2016. - С. 131.

12. Деформационная обработка вторичного алюминия и алюминийсодержащих отходов /А.И. Шевелев, Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин и др. – Донецк: Изд-во «Ноулидж», 2010. – 271 с.
13. Коляда Л.Г. Тарасюк Е.В., Пономарев А.П. Вафин В.Р. Анализ современных упаковочных материалов для металлопродукции // Бюллетень “Черная металлургия”. 2017. №6. С. 61-72.
14. The Identification and Prevention of Defects on Anodized Aluminium Parts. Edited by Ted Short, Aluminium Finishing Consultant. URL: <http://www.fot.de/uploads/docs/fehlermoeglichkeiten.pdf>.
15. Davis J. R. Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys / J.R. Davis. - Materials Park, OH: ASM International, 1999. 313 p.

ПРОФИЛАКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗВЕСТЬЮ

Федина В.В., Тимофеева А.С., Никитченко Т.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
fedinavv@mail.ru, 8-915-524-44-35*

Аннотация. *Весьма эффективным профилактическим средством предупреждения смерзания товарного концентрата считается известь. Добавление флюса в состав железорудного концентрата позволит удалить избыток влаги. В зависимости от количества извести, добавляемого в продукт обогащения, возможно поддерживать оптимальный уровень влажности.*

Ключевые слова: профилактирование; известь; оптимальная влажность; гидратация; процесс смерзания

PROPHYLAXIS OF IRON ORE CONCENTRATE WITH LIME

Fedina V.V., Timofeeva A.S., Nikitchenko T.V.

*Sary 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, Sary Oskol, microdistrict named after Makarenko, 42
fedinavv@mail.ru, 8-915-524-44-35*

Abstract. *Lime is considered to be a very effective preventive means of preventing freezing of commercial concentrate. The addition of flux to the iron ore concentrate will remove excess moisture. Depending on the amount of lime added to the enrichment product, it is possible to maintain an optimal humidity level.*

Keywords: prophylaxis; lime; optimal humidity; hydration; freezing process.

В середине двадцатого века в СССР были выполнены комплексные работы по освоению технологии спекания тонкоизмельченных концентратов железорудного сырья с использованием извести. Агломерационные фабрики Украины первыми освоили этот процесс. И хотя техническое оснащение агломерационных фабрик не позволило реализовать все его

преимущества, это стало большим достижением по организации производства качественного агломерата при интенсивном ведении процесса.

Качество агломерата определяется прочностными характеристиками его гранул в зонах переувлажнения, сушки и интенсивного нагрева, постоянством их фракционного состава при минимальной склонности к образованию пылевидных частиц. Такой агломерат обеспечивает хорошую газопроницаемость шихты, что позволяет производить её спекание в высоком слое (500 – 650 мм).

Частицы тонкоизмельченных концентратов железорудного сырья, из которых состоят гранулы шихты, создают пористую структуру, не отличающуюся высокой механической прочностью. Агломерат, сформированный на основе таких гранул, легко теряет отдельные частицы и группы частиц с поверхности гранул в процессе прохождения по технологической цепочке. Известь используется в агломерации с целью решения разных задач, но главное её назначение - ликвидация названного отрицательного свойства гранул шихты.

После стадийной мокрой магнитной сепарации (ММС) влажность железорудного концентрата обычно составляет 8 - 10 %. Такое количество влаги отрицательно влияет на свойства концентрата: во время перевозки является дополнительным грузом, при отрицательных температурах воздуха может привести к смерзанию отдельных частиц, что создаст дополнительные трудности при выгрузке вагонов.

Для решения проблемы уменьшения влажности товарного железорудного концентрата и предотвращения его смерзания рекомендуется проводить профилактирование концентрата путем введения в состав концентрата ММС извести. Высокая влагопоглощающая способность данного материала помогает регулировать влажность шихты, образовывать коллоидные растворы, скрепляющие частицы концентрата и флюса в гранулы и сохраняющие их прочность как в сыром состоянии, так и при нагреве [1].

Частицы тонкоизмельченных концентратов железорудного сырья, из которых состоят гранулы шихты, создают пористую структуру, не отличающуюся высокой механической прочностью. Агломерат, сформированный на основе таких гранул, легко теряет отдельные частицы и группы частиц с поверхности гранул в процессе прохождения по технологической цепочке. Известь используется в агломерации с целью решения разных задач, но главное её назначение - ликвидация названного отрицательного свойства гранул шихты.

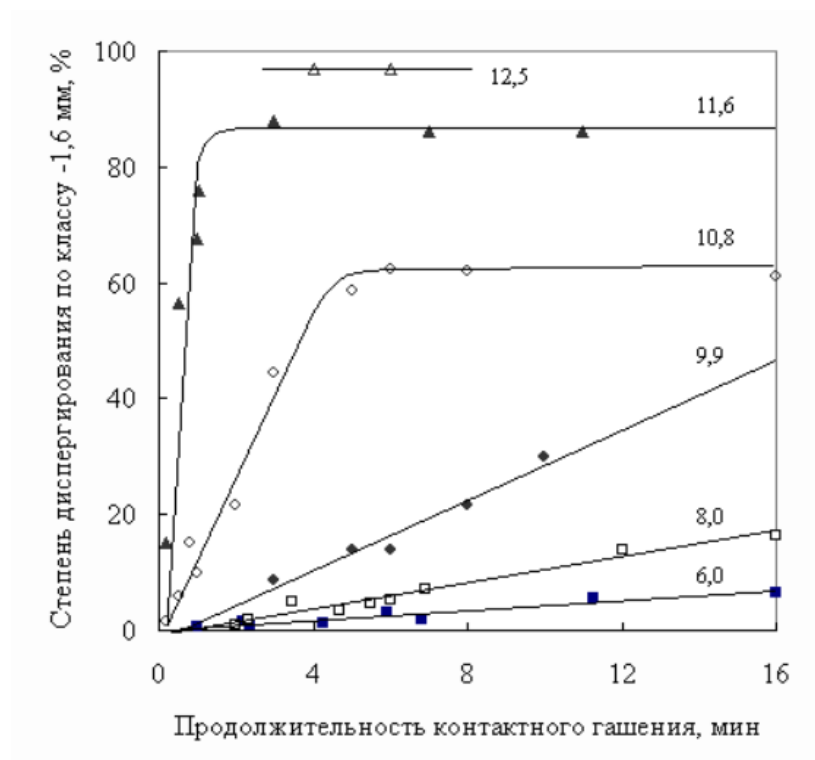
Проходя по технологической цепочке, металлургический концентрат насыщается влагой и перемешивается в барабанных смесителях. Свежеобожженная известь, добавленная в поток концентрата, начинает быстро гаситься при соприкосновении с влажными частицами шихты, которые покрыты пленочной водой. В итоге оксид кальция превращается в суспензию,

в которой частицы твердого вещества в 50 - 100 раз мельче частиц железорудного концентрата и линейных размеров пор гранул шихты [2].

В связи с профилактированием известью железорудного концентрата у металлургов появляется множество вопросов: обязательно следует понимать кинетику химических реакций, протекание физических процессов и знать механизм минералообразования, а также учитывать воздействие этих явлений на свойства конечного продукта.

Экономичный расход негашеной извести, задаваемой в шихту железорудного концентрата, определяется массовой долей усвоенной шихтой погашенной извести, т.е. извести, прошедшей стадию диспергирования. В свою очередь выход диспергированной части извести во времени при гашении определяется первоначальной крупностью обожжённой извести и влажностью концентрата железорудного сырья. На рис. 1 представлены экспериментальные данные о степени диспергирования извести по классу 0-1,6 мм в зависимости от продолжительности контакта извести, имеющей крупность 2,5-5 мм, с железорудным концентратом влажностью от 6,0 до 12,5 % [3].

Из открытых источников [4] известно, что исходный размер кусков оксида кальция, который используют в агломерационном процессе, оказывает влияние на прочность, гранулометрический состав, разрушение при нагреве и восстановлении в доменной печи офлюсованного агломерата. При добавлении тонкоизмельченной извести непосредственно в шихту происходит наиболее полное усвоение ее агломератом. В процессе усвоения начинается замена неустойчиво химических соединений $\text{Ca}(\text{FeO}_2)_2$ на железо-кальциевые оливины.



Числа у кривых – влажность концентрата, %

Рис. 1 – Характер изменения степени диспергирования известняков во времени

Способ сушки железорудного концентрата до определенной конечной влажности после смешивания с негашеной известью позволяет снизить влажность на 0,25 - 1,05 % относительно начальной влажности продукта обогащения.

Во время присоединения воды к молекулам СаО начинается нагревание частиц железорудного концентрата, вследствие чего вода переходит из жидкого состояния в парообразное (0,4 - 2,5 % влажности полученной смеси относительно исходной влажности). Практически все частицы негашеной извести гидратируют при контакте с влагой. При гашении извести с появлением таких минералов, как портландит, гидрокальцит и др., содержание влаги в концентрате снижается на 0,8 – 3,5 % [5].

Скорость гидратации обожженного известняка будет выше, а сам процесс будет полным, если повысить однородность качественного состава сырья. Процесс контакта частиц оксида кальция с влажными частицами железорудного концентрата сопровождается выделением тепла и приводит к ограниченному нагреву шихты. Чем крупнее фракции СаО, тем меньше удельная поверхность контакта. Обожженные частицы известняка размером 8 мм усиленно гидратируют, потому что в мелких фракциях содержится больше активной извести.

Профилактирование известью, как способ сушки железорудного концентрата, приводит к снижению влажности примерно до 2,5 - 6,8 %. Уменьшение влажности шихты в

большой зависимости от погодных условий и объема негашеной извести. Из литературы известно [6], что оптимальная влажность продукта обогащения руды при отрицательной температуре должна быть не более 4 %. Такое количество влаги достаточно для предохранения груза от смерзания при перевозке. Чтобы максимально облегчить выгрузку концентрата и снизить вероятность его распыления в летнее время, требуется добиться влажности 7 %.

Таким образом, для получения требуемой влажности руды или концентрата необходимо учитывать

- однородность как осушаемого продукта, так и извести,
- начальную влажность осушаемого продукта,
- крупность обожженной извести,
- экономичный расход извести, которая может быть усвоена продуктом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пермяков А.А., Кувшинникова Н.И., Калиногорский А.Н. Технологическо-минералогические исследования при профилактировании обожженным известняком железорудного концентрата // Вестник СибГИУ. 2016. №4 (18). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologo-mineralogicheskie-issledovaniya-pri-profilaktirovanii-obozhzhennym-izvestnyakom-zhelezorudnogo-kontsentrata>.
2. В.П. Пузанов, В.А. Кобелев. Введение в технологии металлургического структурообразования. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 501 с. 2003 г.
3. Смородинников А.В., Колесанов Ф.Ф., Климова Н.С. и др. Применение извести на аглофабриках СССР / Обзорная информация. М.: Черметинформация, 1998. Серия 3. Вып. № 2. С. 1 - 34.
4. Базилевич С.В., Жунев А.Г. Повышение качества агломерата и увеличение производительности машин / Бюллетень ин-та “Черметинформация”. Черные металлы, 1977. № 5. С. 3 - 9.
5. Пермяков А.А., Кувшинникова Н.И., Калиногорский А.Н., Бутов П.Ч., Ганженко И.М., Осокин Н.А. Технологическо-минералогические исследования кинетики процессов при профилактировании концентрата, производимого на Абагурском филиале ОАО «ЕВРАЗРУДА». – В кн.: Сб. научн. тр. «Металлургия: технологии, управление, инновации, качество». – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2013. С. 12 – 17.
6. Кулибин В.А. Подготовка руд к плавке. – М.: Металлургиздат, 1959. – 518 с.

СЕКЦИЯ №2 «ГОРНОЕ ДЕЛО»

УДК 622.1:528.481

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСЕДАНИЯМИ РЕПЕРОВ ПОДЗЕМНОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ

Усова А.А.

*Россия, Старый Оскол, СОФ МГРИ им. Серго Орджоникидзе,
e-mail: anna-usova60@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматривается устройство подземной наблюдательной станции для проведения инструментального контроля за развитием геомеханических процессов и изменения состояния рудного массива с динамикой и скорости оседаний глубинных реперов.

Ключевые слова: глубинный репер; инструментальные наблюдения; реакция рудного массива; наблюдательная станция; динамика оседаний; деформационный процесс; скорость оседаний.

OBSERVATIONS OF RAPID SEDIMENTS OF THE UNDERGROUND OBSERVING STATION

Usova A.A.

*Russia, Stary Oskol, SOF MGRI im. Sergo Ordzhonikidze,
e-mail: anna-usova60@yandex.ru*

Abstract. The article discusses the construction of an underground observation station for instrumental control over the development of geomechanical processes and changes in the state of the ore mass with the dynamics and rate of subsidence of deep benchmarks

Keywords: depth reference; instrumental observations; reaction of the ore massif; observation station; subsidence dynamics; deformation process; subsidence rate.

Основная цель подземной наблюдательной станции заключается в инструментальном контроле развития геомеханических процессов и изменения состояния рудного массива, разделяющего зону ведения очистных работ и откаточный горизонт.

В составе наблюдательной станции находится:

- опорная сеть;
- глубинные реперы (R_p) (некоторые из которых парные);
- вспомогательная сеть (M_t).

Работы производятся высокоточным тахеометром Sokkia NET 1200. Благодаря высокой точности отсчёта по вертикальному кругу ($1''$), общая точность производства работ удовлетворяет требованиям, предъявляемым к мониторингу.

При проведении инструментальных наблюдений нивелировкой глубинных реперов, на горизонте контролируется оседание верхней границы горных работ на отметках кровли нулевого слоя. Верхняя граница горных работ является нижней границей предохранительного целика из богатых железных руд под обводненным нижнекарбоновым горизонтом.

Установку глубинных реперов целесообразно производить в выработках, срок стояния которых, без производства закладочных работ, составляет не менее одного года [3].

Для обеспечения возможности более детального анализа изменения параметров деформационных процессов в рудном целике, принято решение об использовании парных глубинных реперов. Глубина установки одного репера 9 м, другого 30 м. Схемы установки для условий нулевого и первого слоя приведены на рис. 1 и 2.

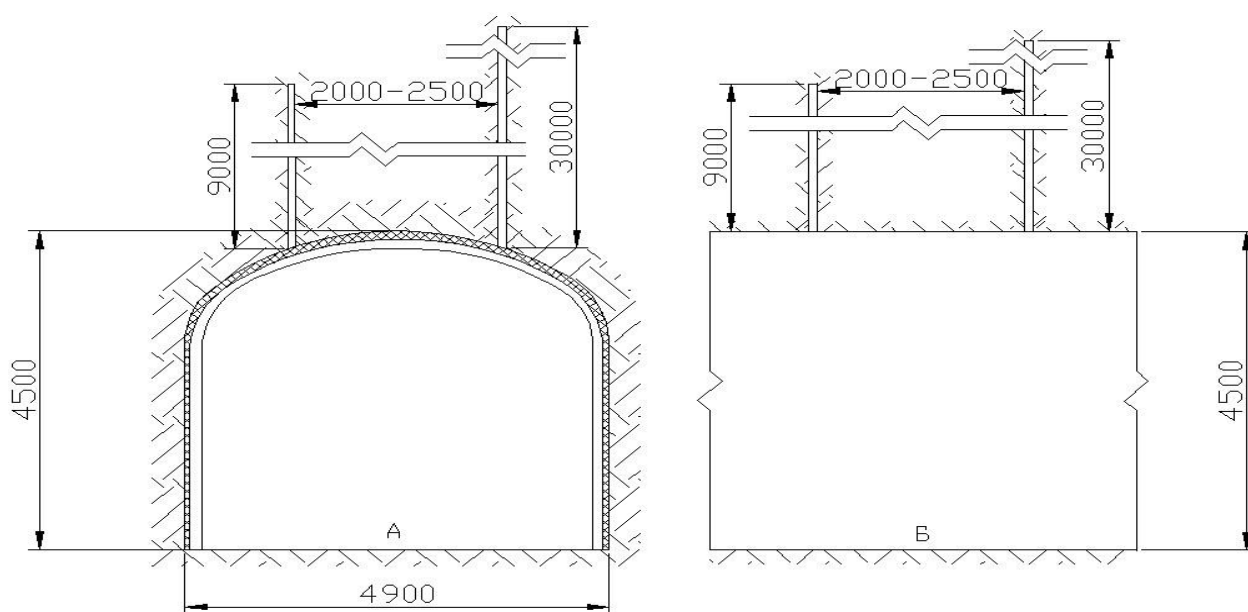


Рис. 1 – Схема установки парного глубинного репера на нулевом слое
(А – установка в поперечном сечении; Б – в продольном)

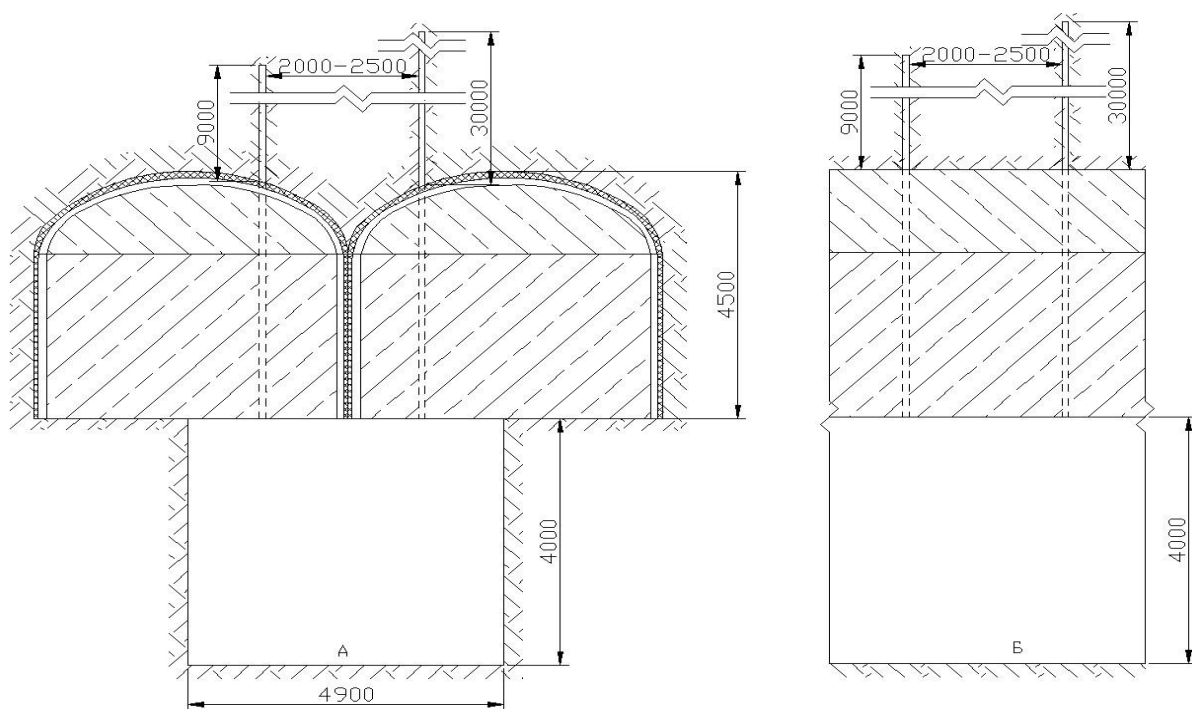


Рис. 2. – Схема установки парного глубинного репера на первом слое
(А – установка в поперечном сечении; Б – в продольном)

Анализ результатов показал, что параметры оседаний 30-ти и 9-ти метровых реперов практически одинаковые. Это значит, что деформационные процессы распространяются на весьма значительную высоту целика, следовательно, необходимо продолжать установку парных реперов, кроме тех мест, где не благоприятная гидрогеологическая обстановка [1].

Параметры деформационных процессов представлены на рис. 3 и 4.

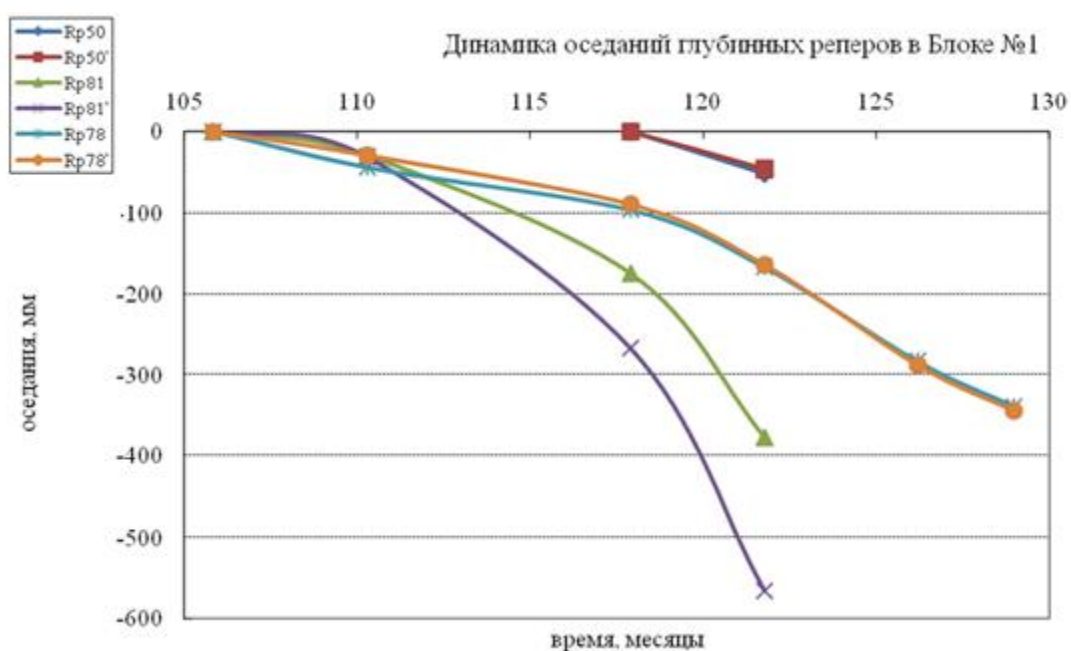


Рис. 3 – Динамика оседаний глубинных реперов в Блоке № 1



Рис. 3 – Скорости оседаний глубинных реперов в Блоке № 1

Следует отметить, что в течение продолжительного периода времени, развитие наблюдательной сети глубинных реперов, в зоне производства очистных работ, затруднено. Выработки, срок стояния которых, без производства закладочных работ, превышает один год практически отсутствуют. В имеющихся технологических выработках трудно произвести работы по установке глубинных реперов, без существенных помех технологическим процессам [4].

Геомеханическая обстановка практически исключает возможность сохранения выработок для мониторинга на нулевом слое.

В выработках первого слоя наблюдаются те же самые проблемы. Размещение глубинных реперов в выработках второго слоя, помимо прочего, является очень затратным и рискованным мероприятием, т.к. работы по бурению скважин в массив рудного целика, через два слоя закладочного массива, как минимум один из которых, помимо армировки, имеет ещё и крепление, будут сильно затруднены. Даже в случае удачных работ по бурению остаётся риск, связанный с тем, что репер придётся заводить через две зоны недозаклада.

Одним из решений в сложившейся ситуации может стать проходка выработок вентиляционно-закладочного горизонта на первом слое в закладочном массиве. Это осуществимо только там, где закладочный массив сформирован на трёх слоях (0; 1; 2). В данных выработках можно осуществлять мониторинг как вышерасположенного рудного целика, так и формирующегося ниже закладочного массива. Для осуществления мониторинга на площади блоков до формирования вентиляционно-закладочного горизонта в данной зоне, следует рассмотреть возможность проходки выработки, по центру месторождения, над

нулевым слоем [2].

При проведении инструментальных наблюдений нивелировкой глубинных реперов контролируются параметры деформационных процессов, являющихся следствием особенностей формирования очистного пространства и закладочного массива. Также исследуется возможность выявления параметров реакции рудного массива на осушение (схлопывание пор).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев, В.Н. Сдвижение и деформации горных пород: учебное пособие [Текст] / В.Н. Гусев, Волохов Е.М. - Издательство: СПГТИ(ТУ). СПб, 20118. - 83 с.
2. Дементьев, В.Е. Современная геодезическая техника и ее применение: учебное пособие для ВУЗов [Текст] / В.Е. Дементьев, Г. В Земских., Н. В Кортев. - Изд.2-е. – М.: Академический Проект, 2020.
3. Кологривко, А.А. Маркшейдерское дело. Подземные горные работы: учеб. пособие для вузов [Текст] / А.А. Кологривко. - Минск: Нов. Знание; Москва: ИНФРА-М, 2021. - 411 с. - (Высшее образование).
4. Попов, В.Н. Комментарии к инструкции по производству маркшейдерских работ: учеб. пособие для вузов [Текст] / В.Н. Попов, В.Н. Сученко, С.В. Бойко. - Москва: Горная кн., 2019. - 269 с.: ил. - (Горное образование).

УСТАНОВЛЕНИЕ НА ЗЕМЕЛЬНОМ УЧАСТКЕ ГРАНИЦЫ ОПАСНОЙ ЗОНЫ ПРИ ВЗРЫВАНИИ СЕРИИ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ

Усова А.А.

*Россия, Старый Оскол, СОФ МГРИ им. Серго Орджоникидзе,
e-mail: anna-usova60@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются расчеты по условию безопасного ведения взрывных работ с целью определения расстояния: по разлету отдельных кусков породы для людей, действия ударной воздушной волны на застекление зданий, действия гидроударной волны на ихтиофауну.

Ключевые слова: взрывные работы; скважинные заряды; масса заряда; взрывчатое вещество; разбуривание скважины; буровзрывные работы; буровой станок.

HAZARDOUS AREA BORDER INSTALLATION IN LAND EXPLODED WITH A SERIES OF WELL CHARGES

Usova A.A.

*Russia, Stary Oskol, SOF MGRI im. Sergo Ordzhonikidze,
e-mail: anna-usova60@yandex.ru*

Abstract. The article discusses calculations on the condition of safe blasting in order to determine the distance: by the scattering of individual pieces of rock for people, the action of an air blast wave on the glazing of buildings, the action of a hydroshock wave on ichthyofauna.

Keywords: blasting operations; borehole charges; charge mass; explosive; drilling a well; drilling and blasting works; drilling rig.

Значительная часть минерального сырья, добываемого открытым способом, представлена скальными породами и экскавируется только после предварительного взрывного дробления. Буровзрывные работы составляют до 25% затрат на добычу полезного ископаемого и непосредственно влияют на производительность выемочно-погрузочного и дробильно-сортировочного оборудования. Разработка железистых кварцитов и скальной вскрыши требует предварительного их рыхления буровзрывным способом. Бурение скважин производится буровыми станками СБШ-250МН с диаметром долота 243,5 мм. Процессу бурения сопутствует ряд вспомогательных работ: подготовка рабочих площадок для буровых

станков, бесперебойное снабжение электроэнергией, материалом, инструментом, перегоны станков, их ремонт, наращивание и перестройка линий электроснабжения, перемещение силового кабеля (с помощью бульдозеров и передвижных электростанций).

Буровзрывные работы должны проводиться с таким расчётом, чтобы обеспечить минимальный объём выбросов взорванной горной массы в сторону выработанного пространства. Граница опасной зоны устанавливается проектом на каждый взрыв. На местности границы опасной зоны отмечаются условными знаками с выставлением постов охраны. Количество скважин в группе, взрываемых в одну серию, и все заряды в них определяются на каждый взрыв техническим расчетом проекта на производство массового взрыва. Все воздушные и кабельные линии электропередач в границах опасной зоны на время взрывания зарядов должны быть отключены. После взрыва (перед включением) необходимо произвести осмотр этих линий с записью результатов в специальный журнал. Перед производством массового взрыва на карьере обеспечивается вывод людей из карьера за пределы опасной зоны [2].

При любых операциях взрывчатые материалы не должны подвергаться толчкам и ударам, запрещается курить и разводить открытый огонь ближе 100 м, иметь при себе курительные и зажигательные принадлежности, а также огнестрельное оружие. Для расчетов, по условию безопасного ведения взрывных работ, принимаются вертикальные скважины. Проектные скважины инструментально (с помощью геодезических приборов и инструментов) выносятся и закрепляются на местности по сетке согласно проекту на производство массового взрыва. Заряд сплошной, взрывчатое вещество – эмульин Т. При применении других типов взрывчатого вещества необходимо вводить поправочный коэффициент, учитывающий удельную энергоёмкость разрушения пород взрывчатым веществом. Забойка скважин производится буровым шламом и дробленой породой. Способ взрывания скважин – с помощью детонирующего шнура.

При выборе схемы короткозамедленного взрывания следует исходить из соблюдения основного условия успешного производства взрывных работ – отбойки в крест напластования породы и господствующей системы трещин, а также направления взрыва. Следует также учитывать требуемую степень дробления для скальной вскрыши и полезного ископаемого (руды). Схемы короткозамедленного взрывания, число рядов и количество взрываемых скважин могут изменяться в зависимости от конкретных условий, при этом общий вес зарядов скважин не должен превышать 50 т.

При выборе схемы короткозамедленного взрывания следует исходить из соблюдения основного условия успешного производства взрывных работ - отбойки в крест напластования породы и господствующей системы трещин, а также направления взрыва. Следует также

учитывать требуемую степень дробления для скальной вскрыши и полезного ископаемого (руды). Согласно п. 1.2. раздела VIII ЕПБВР, при взрывании серии скважинных зарядов одинакового диаметра с переменными параметрами расчет безопасного расстояния должен производиться по:

- наименьшим значениям расстояний между скважинами в ряду или между рядами;
- наименьшему коэффициенту заполнения скважин забойкой;
- наибольшему коэффициенту заполнения скважин взрывчатым веществом из всех имеющихся в данной серии взрыва [1].

Буровой станок устанавливается на спланированной площадке на безопасном расстоянии (не менее 2 м от бровки до ближайшей точки опоры станка), определяемом расчетами и проектом. Безопасное расстояние для людей при взрывных работах на земной поверхности для скважинных зарядов 200 м. За безопасное расстояние принимается наибольшее из установленных по различным поражающим факторам для людей ($r_{\text{разл}}$) и для защиты зданий и сооружений (r_c).

Расстояние, опасное для людей по разлету отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов, рассчитанных на разрыхляющее действие, определяется по формуле (1):

$$r_{\text{разл}} = 1250 \cdot \eta_z \cdot \sqrt{\frac{f}{1 + \eta_{\text{заб}}} \cdot \frac{d}{a}} \cdot (1 + \text{tg}\beta_k), \quad (1)$$

- где $r_{\text{разл}}$ – безопасное расстояние для людей по разлету кусков породы, м;
- η_z – коэффициент заполнения скважин взрывчатым веществом;
- f – коэффициент крепости пород по шкале профессора М.М. Протодяконова;
- $\eta_{\text{заб}}$ – коэффициент заполнения скважин забойкой;
- d – диаметр взрывааемых скважин, м;
- a – расстояние между скважинами в ряду и между рядами скважин, м;
- β_k – угол наклона косогора к горизонту, град.

Параметры буровзрывных работ могут уточняться в процессе эксплуатации с проверкой расчетов по всем критериям безопасности. Допускается бурение наклонных скважин, не уменьшая сетки размещения скважин, уменьшая удельный расход взрывчатых веществ, и значение коэффициента заполнения скважины взрывчатым веществом должно быть не более расчетных: $\eta_z = 0,57$ для разрезных траншей и $\eta_z = 0,54$ при отбойке пород висячего и лежащего боков.

Условный диаметр взрывааемой скважины определяется расчетом по формуле (2):

$$d = 1,06 \cdot d_k, \quad (2)$$

где d – условный диаметр взрываваемой скважины;

1,06 – коэффициент разбуривания скважины;

d_k – диаметр коронки бурового станка шарошечного бурения.

Если взрываемый участок массива представлен породами с различной крепостью, следует в расчете опасного для людей расстояния по разлету отдельных кусков породы принимать максимальное значение коэффициента крепости породы. Максимальная высота разлета отдельных кусков породы ($r_{в \text{ разл}}$) согласно п. 3. раздел VIII ЕПБ при ВР приравнивается к безопасному расстоянию по разлету ($r_{\text{разл}}$). Безопасное расстояние от места взрыва до механизмов, зданий, сооружений определяется в проекте на взрыв с учетом конкретных условий [4].

Безопасное расстояние для зданий и сооружений по сейсмическому воздействию взрыва при одновременном взрывании зарядов взрывчатого вещества с максимальной общей массой заряда в серии со временем замедления между взрывами не менее 20 мс определяется по формуле (3):

$$r_c = \frac{K_r \cdot K_c \cdot \alpha}{N^{1/4}} \cdot Q, \quad (3)$$

где r_c – безопасное расстояние для зданий и сооружений по сейсмическому воздействию взрыва;

$K_r = 8$ – коэффициент, зависящий от свойств грунта в основании охраняемого здания (сооружения);

$K_c = 2$ – коэффициент, зависящий от типа здания (сооружения) и характера застройки;

$\alpha = 1$ – коэффициент, зависящий от условий взрывания;

N – количество скважин, взрываваемых одновременно в серии, шт;

Q – максимальная общая масса заряда в серии, кг.

Для определения безопасного расстояния по действию ударной воздушной волны на застекление зданий рассчитывают эквивалентную массу заряда при короткозамедленном взрывании с количеством скважин в группе по формуле (4):

$$Q_3 = 12 \cdot P \cdot d \cdot K_3 \cdot N + Q_{\text{дш}}, \quad (4)$$

где Q_3 – эквивалентная масса заряда;

$P = 49,06$ кг – вместимость взрывчатого вещества на 1 м скважины;

d – диаметр скважины;

$K_3 = 0,002$ – коэффициент, зависящий от отношения длины забойки к диаметру скважины;

N – максимальное количество скважинных зарядов в группе, взрываемых одновременно, шт;

$Q_{\text{дш}}$ – суммарная масса взрывчатого вещества в детонирующем шнуре.

Безопасное расстояние по действию ударной волны взрыва на застекление вычисляется по формуле (5):

$$r_b = 65 \cdot K_n \cdot K_3 \cdot K_T \cdot (Q_3)^{1/2}, \quad (5)$$

где r_b – безопасное расстояние по действию ударной волны взрыва на застекление;

$K_n = 1$ – коэффициент при взрывании пород VIII группы;

$K_3 = 1,2$ – коэффициент интервала замедления для интервала от 30 до 45 мс;

$K_T = 1,5$ – коэффициент при отрицательной температуре воздуха.

Безопасное расстояние по действию ударной, воздушной волны на человека определяется по формуле (6):

$$r_{\min} = 15 \cdot (Q_n)^{1/3}, \quad (6)$$

где $r_{\min}$ – безопасное расстояние по действию ударной, воздушной волны на человека;

Q_n – вес наружного заряда при дроблении негабаритов, кг.

Безопасное расстояние по действию гидроударной волны на ихтиофауну выявляется по формуле (7):

$$r_6 = 16 \cdot \left(\frac{H}{E_6}\right)^{1/4} \cdot Q^{1/3}, \quad (7)$$

где r_6 – безопасное расстояние по действию гидро-ударной волны на ихтиофауну;

H – глубина ближайшей реки в период половодья;

$E_6 = 150$ – предельно допустимая (безопасная) удельная энергия гидро-ударной волны, Дж/м²;

Q – масса взрываемого взрывчатого вещества максимальная, кг.

Безопасное расстояние для людей при взрывных работах на земной поверхности для скважинных зарядов 200 м.

За безопасное расстояние принимается наибольшее из установленных по различным поражающим факторам:

- для людей ($r_{\text{разл}}$); для защиты зданий и сооружений (r_c);
- для механизмов устанавливается проектом на массовый взрыв с учетом конкретных условий.

Во всех случаях при производстве взрывных работ коэффициент заполнения скважин ВВ не должен превышать 0,57 для разрезных траншей и 0,54 для отбойки горных пород вскрыши [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулизаде, М.П. Оптимальный метод разбуривания месторождений [Текст] / М.П. Гулизаде, Н.Х. Бабаев, Д.А. Бабаев, Б.М. Халимбеков, К.А. Амирагов. – М.: Материалы научного и научно-методического симпозиума вузов РФ, 2020.
2. Киршенбаум, Р.П. Решение задач кустования скважин на ЭВМ. [Текст] / Р.П. Киршенбаум, Э.А. Ахпагелов, В.А. Коровин. – М.: Образование и наука в современном мире. Инновации, 2019. № 5. - с. 63 - 72.
3. Харломов, К.Н. Системный подход к проектированию схем разбуривания месторождений скважинами [Текст] / К.Н. Харломов, А.К. Харломов, Г.Н. Шешукова. – М.: Строительство куста бурения скважин в карьере, 2021. - № 5. - с. 55 - 57.
4. Шешукова Г.Н. Повышение эффективности кустового метода разбуривания месторождений [Текст]: диссертация на соискание ученой степени кандидата техн. Наук / Г.Н. Шешукова. – М., 2018.

ДОБЫЧА СОЛИ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Усова А.А.

*Россия, Старый Оскол, СОФ МГРИ им. Серго Орджоникидзе,
e-mail: anna-usova60@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматривается открытый способ добычи соли, обеспечивающий наиболее полное извлечение полезных ископаемых и имеющий наименьшую себестоимость и наибольшую безопасность работ.

Ключевые слова: каменная соль; открытый способ; добыча соли; пласты каменной соли; карьерный способ добычи соли; качество добытой соли.

OPEN SALT EXTRACTION

Usova A.A.

*Russia, Stary Oskol, SOF MGRI im. Sergo Ordzhonikidze,
e-mail: anna-usova60@yandex.ru*

Abstract. The article discusses an open method of salt extraction, which ensures the most complete extraction of minerals and has the lowest cost and the highest safety of work.

Keywords: rock salt; open way; salt mining; rock salt layers; open-pit salt mining; the quality of the mined salt.

Соль имеет хорошо знакомый каждому человеку характерный вкус, без которого пища кажется пресной. Такая особенность соли обусловлена физиологией человека, но люди зачастую потребляют соли больше, чем необходимо для физиологических процессов.

Физиологической нормой для одного человека считается 5 граммов соли в день. В Европе и США, однако, средний житель потребляет около 10 граммов. Во многих странах Европы и штатах США развёрнуты программы по разъяснению губительных последствий злоупотребления солью. В Англии принят закон, требующий сообщать на этикетках пищевых продуктов о содержании в них соли. В Финляндии удалось снизить потребление соли на треть, благодаря чему смертность от инсультов и инфарктов уменьшилась на 80%.

По данным Всемирной организации здравоохранения, систематический приём избыточного по сравнению с физиологической нормой количества соли приводит к повышению кровяного давления и, как следствие, - к разнообразным болезням сердца и почек,

раку желудка и остеопорозу. Наряду с другими солями натрия поваренная соль может стать причиной заболеваний глаз и отёка век - соль задерживает в организме воду, большой объём которой «хранит» в себе жировая ткань. Может привести к повышению внутриглазного давления и развитию катаракты [4].

Нормальная жизнедеятельность человеческого тела без каменной соли попросту невозможна. Например, желудочный сок имеет в своем составе значительное количество соляной кислоты, а основным сырьем для ее выработки организмом является соль. В передаче импульсов по нервным волокнам и в работе мышечных тканей задействованы ионы различных веществ. В том числе и ионы натрия, основным поставщиком которых выступает употребляемая в пищу соль. Кроме того, в ней содержатся, в виде примесей, марганец, хром, железо, - микроэлементы безусловно необходимые для человека.

Соль обладает слабыми антисептическими свойствами; 10-15%-ное содержание соли предотвращает развитие гнилостных бактерий, что служит причиной её широкого применения в качестве консерванта пищи и иных органических масс (кожи, древесины, клея).

Что касается промышленности, то трудно найти такую отрасль, которая напрямую или косвенно не была бы зависима от продуктов переработки, получаемых из самой обычной соли. Это, например, металлический натрий, который широко используется в ядерной энергетике и авиастроении. Без соли нельзя обойтись при производстве мыла и в красильном деле. Сырьем для химической промышленности также выступает NaCl. Хлор, различные соды, едкий натр, соляная кислота – все это человек получает из каменной соли.

Животноводство, сельское и коммунальное хозяйства, буровая промышленность без обычной соли не смогут функционировать.

В процентном соотношении, примерное распределение всей добываемой каменной соли выглядит так:

- большую часть, около 60%, потребляет химическая промышленность в качестве сырья;
- примерно 25% используется в пищевой промышленности;
- оставшиеся 15% потребления приходятся на коммунальное хозяйство, сельское хозяйство и другие сферы деятельности.

Соль, будучи смешанной со льдом (в том числе в форме снега), вызывает его таяние (плавление). Образовавшийся водно-солевой раствор имеет температуру кристаллизации (замерзает) ниже 0°C, которая зависит от количества соли в растворе (чем выше концентрация, тем ниже температура кристаллизации раствора). Это явление используется для очистки дорог от льда и снега.

Месторождения с глубиной залегания до ста метров разрабатываются открытым или

карьерным способом. Сняв верхний слой почвы и покрывающие соляные залежи породы, можно приступать к непосредственной добыче соли [2].

Открытый способ добычи (рис. 1) обеспечивает наиболее полное извлечение полезных ископаемых, имеет наименьшую себестоимость и наибольшую безопасность работ.

Недостатки карьерной добычи (рис. 2) состоят в том, что добываемая каменная соль подвержена загрязнению осадками, грунтовыми водами, пылевыми наносами.

Применяется взрывной, механический метод или их совместное комбинирование. При взрывном методе в пластах каменной соли бурятся шурфы, закладывается взрывчатка и силой взрыва куски соляного пласта откалываются от основного массива [1]. В механическом методе для разрушения массива используется спецтехника: экскаваторы и грейдеры (рис. 3).



Рис. 1 – Добыча соли открытым способом



Рис. 2 – Промышленная добыча соли в соляном карьере



Рис. 3 – Добыча соли экскаватором с применением БВР

Чем глубже становится карьер, тем менее выраженными становятся плюсы такого метода добычи. В особенности его рентабельность. На определенном этапе рентабельность карьерной разработки становится равна рентабельности добычи шахтным методом. Тогда, для повышения качества добытой соли, переходят на шахтный метод [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батурин, Е. Н., Меньшикова, Е. А., Блинов, С. М., Наумов, Д. Ю., Белкин, П. А. Проблемы освоения крупнейших калийных месторождений мира // Современные проблемы науки и образования. – 2018, № 6. [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=7513> (дата обращения 5.02.2021).
2. История и способы добычи соли. [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://promplace.ru/dobycha-i-obrabotka-poleznyh-iskopaemyh/dobychasoli-1496.htm> (дата обращения 6.12.2021).
3. Коловогивко, А.А. Снижение геоэкологических последствий при открытой разработке калийных месторождений [Текст] // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2020. – №16. С. 103-110.
4. ПАО «Уралкалий»: официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа : www.uralkali.com (дата обращения 4.12.2021).

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГРАНИЦ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Усова А.А.

*Россия, Старый Оскол, СОФ МГРИ им. Серго Орджоникидзе,
e-mail: anna-usova60@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются основные требования к установлению границ части земных недр, предоставляемых недропользователям для промышленной разработки содержащихся в ней полезных ископаемых.

Ключевые слова: недропользователи; горный отвод; пространственные контуры месторождения; геометризованный блок недр; лицензии пользования недрами; горноотводный акт; геологический отвод.

BASIC REQUIREMENTS FOR DETERMINING THE BOUNDARIES OF LAND AREAS FOR THE DEVELOPMENT OF MINERAL DEPOSITS

Usova A.A.

*Russia, Stary Oskol, SOF MGRI im. Sergo Ordzhonikidze,
e-mail: anna-usova60@yandex.ru*

Abstract. The article discusses the basic requirements for establishing the boundaries of a part of the earth's interior, provided to subsoil users for the industrial development of the minerals contained in it.

Keywords: subsoil users; mining allotment; spatial contours of the field; geometrized subsoil block; licenses for the use of subsoil; mining allotment act; geological allotment.

В целях обеспечения рационального использования и охраны недр при разработке месторождений полезных ископаемых, охраны окружающей среды от вредного влияния горных работ при добыче полезных ископаемых, обеспечения безопасности при ведении горных работ, защиты интересов недропользователя и государства устанавливаются границы горного отвода. Горным отводом называется часть земных недр, предоставляемая организации или предприятию для промышленной разработки содержащихся в ней полезных ископаемых.

При определении границ горного отвода учитываются пространственные контуры

месторождения полезного ископаемого, зоны сдвижения горных пород, границы безопасного ведения горных, зоны охраны от вредного влияния горных разработок и другие факторы, влияющие на состояние недр, земной поверхности и окружающей среды в связи с процессом геологического изучения и использования недр [2].

Таким образом, горным отводом называется геометризованный блок недр, представленный на рис. 1.

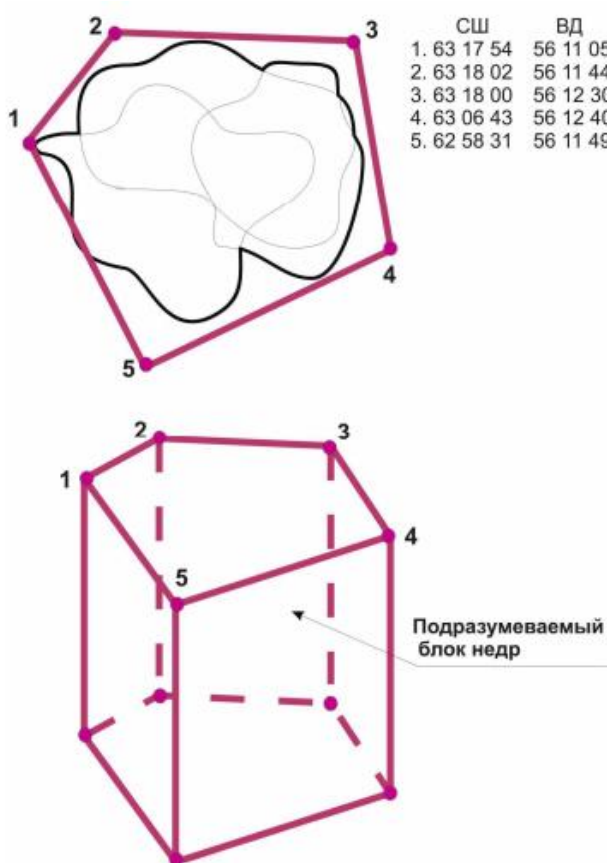


Рис. 1 – Схема проекции внешнего контура горного отвода

Следовательно, документы, удостоверяющие горный отвод, определяют его пространственное положение в плане, по глубине и являются неотъемлемой составной частью лицензии на пользование недрами.

При предоставлении в установленном порядке лицензии на пользование недрами устанавливаются предварительные границы горного отвода по согласованию с территориальными органами Ростехнадзора.

Уточненные границы горного отвода устанавливаются после рассмотрения технического проекта разработки месторождения полезных ископаемых, прошедшего в установленном порядке согласование, экспертизу и утверждение. Документы, удостоверяющие уточненные границы горного отвода, включаются в лицензию в качестве

неотъемлемой составной части.

Пользователь недр, получивший горный отвод, имеет исключительное право осуществлять в его границах пользование недрами в соответствии с предоставленной лицензией. Любая деятельность, связанная с использованием недрами в границах горного отвода, может осуществляться только с согласия пользователя недр, которому он предоставлен.

Уточненные границы горного отвода устанавливаются только на ту часть предоставленного в пользование участка недр, запасы полезного ископаемого которого прошли государственную экспертизу.

Проект горного отвода – основополагающий документ лицензии пользования недрами и, как следствие, проведения горных работ и извлечения полезных ископаемых. Для большинства компаний РФ, ведущих разработку, такой процесс — это серьезное испытание, и они вынуждены привлекать профессионалов.

К нормативным документам, регламентирующим подготовку Проекта, относят:

- «Правила подготовки и оформления документов, удостоверяющих уточненные границы горного отвода» (форма Постановления Правительства РФ за номером 770 от 29.07.2015);

- Инструкции по оформлению горных отводов для разработки месторождений полезных ископаемых РД 07-192-9813» (форма постановления Госгортехнадзора России за номером 58 от 31.01.1997);

Как и любые документы, связанные с эксплуатацией земельных ресурсов, подготовка проекта горного отвода ведется с привлечением инженеров – это обусловлено большим количеством топографической съемки, разработкой схем планирования, расчетами изымаемых ископаемых, аналитикой последствий для окружающей природы [3].

Добыча полезных ископаемых осуществляется после получения документов, удостоверяющих уточненные границы горного отвода и в пределах этих границ. Самовольное пользование недрами и самовольная застройка площадей залегания полезных ископаемых прекращаются без возмещения затрат, произведенных за время незаконного пользования недрами.

Уточненные границы горного отвода указываются в условной системе прямоугольных координат, принятых в установленном порядке.

Горноотводный акт, удостоверяющий уточненные границы горного отвода, выдается на основании представленного пользователем недр проекта горного отвода. Проекты горных отводов на разработку месторождений полезных ископаемых составляются организациями, имеющими выданную Ростехнадзором лицензию на проектирование горных производств.

Проект горного отвода уточняет географические координаты лицензионного участка недр и закрепляет угловые пункты отвода в системе прямоугольных координат. Установление границ горного отвода зависит от конкретной цели пользования недрами и вида полезного ископаемого. Параметры могут варьироваться контурами подсчета запасов полезных ископаемых, положением горной выработки (карьера), зонами сдвижения горных пород, границами взрывных работ, но не могут превышать площади лицензионного участка недр.

Для составления проекта горного отвода является технический проект, устанавливающий горизонтальные и вертикальные границы отработки месторождения.

Проект горного отвода должен содержать следующие материалы:

- пояснительную записку, в которой даются обоснование горного отвода, геологическая характеристика месторождения и данные по застройке поверхности;
- топографический план с указанием запрашиваемого и соседних горных отводов;
- геологическую карту и разрезы с границами горного отвода;
- выписку из протокола ГКЗ и справку вышестоящей организации о необходимости получения горного отвода.

Проект горного отвода может включаться в состав технического проекта разработки месторождения полезных ископаемых специальным разделом «Обоснование границ горного отвода».

Проект горного отвода для разработки месторождения полезного ископаемого состоит из двух ключевых блоков – пояснительной записки и графических включений. Исчерпывающий перечень информации содержится в главе 3 Инструкции 07-192-98. Заявитель приводит наименование держателя лицензии, границы участка недр, целевое назначение, наименование проектной организации, общие данные о землях под горным отводом.

Графические материалы должны состоять из копии топографического плана поверхности в проектных границах горного отвода и копий геологических разрезов, составленных в соответствии с установленными требованиями.

В свободной части копии топографического плана помещается ведомость координат x , y , z угловых точек уточненных границ испрашиваемого горного отвода, определяемых графически по плану и разрезам, указываются площадь (в гектарах) проекции горного отвода на горизонтальную плоскость, дата пополнения плана [4].

Сверху с правой стороны копии топографического плана оставляется место для надписи (штампа), удостоверяющей уточненные границы горного отвода. Масштаб копии топографического плана принимается в зависимости от размеров изображаемого участка, характера и назначения предприятия по добыче полезных ископаемых, но должен быть не

мельче 1:5000.

Эксперты обращают внимание: помимо горного отвода в сфере извлечения полезных ископаемых также присутствует геологический отвод. Принципиальное отличие – в цели (геологическое изучение земель), и размерах. Как правило, геологический отвод крупнее по размерам, и на территории одного из них могут содержаться несколько с разным объемом, целью и эффективностью работ.

Результатом утвержденного проекта горного отвода для месторождения полезных ископаемых будет полученный от органа региональной власти горноотводный акт установленного образца.

Как и вся сфера по эксплуатации природных богатств, горная регламентируется десятками нормативных актов и требований. Они могут различаться, противоречить друг другу или содержать «белые пятна». Привлечение подрядных организаций для подготовки проектов это не прихоть недропользователя, а жесткое требование закона. Поэтому для подготовки солидного пакета документов стоит пригласить опытных инженеров.

Особое внимание комиссий и комитетов по выдаче лицензий вызывают экологические аспекты: геологическая и гидрогеологическая характеристика земель, планировка воздействия на окружающую среду, смежные горные отводы. Разумеется, в пояснительной записке к проекту приводятся данные о месторождении, его ТЭО и рекомендации госэкспертизы запасов полезных ископаемых [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев, В.П. Формирование земельного участка под строительство карьера [Текст]: метод. указания к курсовому проекту / В.П. Беляев. – М: БГАУ, 2020. – 83 с.
2. Лигоцкий, Д.Н. Технология разработки месторождений полезных ископаемых [Текст]: Учеб, пособие / Д.Н. Лигоцкий, С.И. Фомин. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургский гос. горный ун-т, 2018.
3. Ушакова, А.П. Земли общего пользования: правовые признаки и место среди иных видов земель [Текст] / А.П. Ушакова. – М.: Имущественные отношения в РФ, 2019. - № 5. – с. 90 – 96.
4. Хамитов, Р.А. Проблемы недропользования, связанные с земельными отношениями [Текст] /Р.А. Хамитов. – Уфа: Материалы XII Межрегиональной научно-практической конференции «Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий» (17-18 ноября 2016 г.), 2021. с. 10 -14.

ФОРМИРОВАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЙ ЭТАП РЕКУЛЬТИВАЦИИ ГИДРООТВАЛОВ

Усова А.А.

Россия, Старый Оскол, СОФ МГРИ им. Серго Орджоникидзе,

e-mail: anna-usova60@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается устройство отвалов, образуемых намывным способом по проектному профилю не далеко от обогащательных предприятий с обеспечением управляемого выпуска пульпы с последующей рекультивацией внешних откосов хвостохранилищ, шлако и золоотвалов.

Ключевые слова: рекультивация; гидроотвал; намывной способ; хвостохранилище; гидромеханизированный способ; складирование; продуктов очистки.

FORMATION AND TECHNICAL STAGE OF RECULTIVATION OF WATER DUMPS

Usova A.A.

Russia, Stary Oskol, SOF MGRI im. Sergo Ordzhonikidze,

e-mail: anna-usova60@yandex.ru

Abstract. The article discusses the device of dumps formed by the reclamation method along the design profile not far from the processing enterprises with the provision of controlled release of pulp with subsequent reclamation of the outer slopes of tailing dumps, slag and ash dumps.

Keywords: reclamation; hydraulic dump; alluvial method; tailing dump; hydromechanized method; warehousing; cleaning products.

Отвалы, образуемые намывным способом, называют гидроотвалами. Различают два вида гидроотвалов – отвалы, которым не требуется придавать в процессе формирования определенной конфигурации, и отвалы, намываемые по проектному профилю. В первом случае это гидроотвалы, устраиваемые путем свободного выпуска пульпы в водоем (старицу, озеро, море), а также в балку или овраг (рис. 1, а). Если такой возможности нет, то отвалы располагают на ровной или слабопересеченной местности вблизи устраиваемых выемок или недалеко отобогащательных предприятий с обеспечением управляемого выпуска пульпы (рис. 1, б).

Гидроотвалы образуют при производстве вскрышных работ в карьерах гидромеханизированным способом перед добычей полезных ископаемых и нерудных

материалов, при складировании продуктов очистки (донных отложений) водных объектов в процессе их очистки.

Гидроотвалами также считают накопители жидких или пастообразных отходов предприятий лесной, бумажной, горнодобывающей и химической промышленности, в энергетике – содовых, соляных отходов, хвостов горнообогатительных фабрик, шлака и золы, других видов отходов. Эти отходы удаляют в большинстве случаев с помощью воды в виде пульпы с последующим намывом в специальные отстойники, называемые шламонаполнителями, хвостохранилищами и золошлакоотвалами.

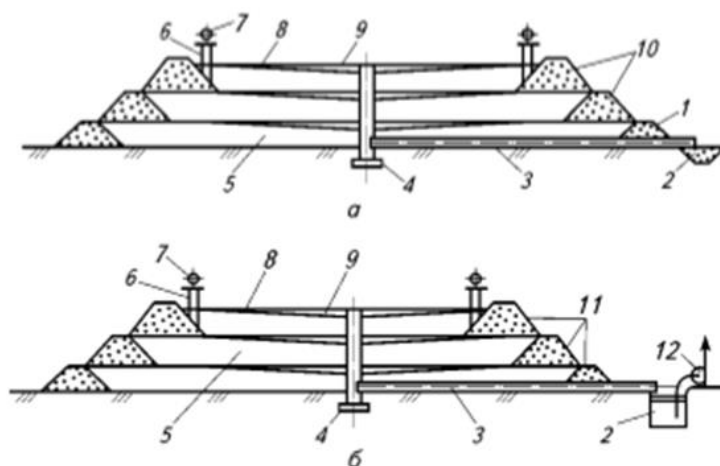


Рис. 1 – Схема намыва:

а – гидроотвала; б – хвостов горно-обогатительной фабрики в гидроотвал; 1 дамба первичного обвалования; 2 – отводной канал; 3 – водоотводная труба; 4 – колодец для сброса осветленной воды; 5 – намываемый материал, 6 – деревянные опоры; 7 – распределительный пульпопровод; 8 – пляж намыва; 9 – прудок-отстойник; 10 – дамбы попутного обвалования; 11 – дамбы обвалования, выполняемые из минерального трута; 12 – насосный агрегат системы обратного водоснабжения горно-обогатительной фабрики

Перед укладкой складироваемого материала в гидроотвалы снимают плодородный слой почвы и слой потенциально плодородного грунта с поверхности участка, отводимую под отвал, землеройно-транспортными машинами с перемещением во временные отвалы. При создании гидроотвалов в балках и оврагах предусматривают устройство сооружений для отвода поверхностных вод, поступающих с поверхности водосбора, и осветленной воды в процессе производства работ по формированию гидроотвала [1].

Формирование гидроотвалов проектного профиля требует устройства офаждающих дамб, предотвращающих произвольное растекание пульпы в процессе намыва. При формировании гидроотвалов на ровной местности территорию по периметру отвала

ограждают дамбами первичного обвалования высотой 0,7 ... 1,5 м, возводимыми из минерального фунта, забираемого в основании отвала.

Территорию гидроотвалов, устраиваемых в оврагах, также ограждают дамбами тех же размеров, возводимых поперек оврага.

По мере заполнения гидроотвала дамбы обвалования наращивают по высоте, используя намытый в гидроотвал материал, если он удовлетворяет строительным требованиям. В противном случае для этих целей необходимо запастись минеральным фунтом, который забирают из котлована, устраиваемого в пределах контура подошвы возводимого гидроотвала в объеме, достаточном для возведения ограждающих дамб в процессе намыва отвала до проектных размеров. Для предотвращения водной эрозии сформированных внешних откосов промежуточным берам придают незначительный поперечный уклон в сторону подножья выше расположенного откоса [3].

Рекультивация внешних откосов хвостохранилищ, шлако и золоотвалов выполняется аналогичным образом, как и в первом варианте, но непременно с учетом химического состава золы, местных природно-климатических условий и др.

После заполнения хвостохранилища до проектного объема намытый материал обезвоживают, опорожня прудок-отстойник отводы, разравнивают выступающие части дамб обвалования и приступают к формированию рекультивационного слоя. Шлакоотходы металлургических заводов и хвостохранилища обогатительных фабрик из-за содержания токсичных соединений вначале экранируют слоем потенциально плодородного грунта мощностью 1 ... 1,5 м, а затем сверху экрана наносят плодородный слой почвы толщиной 0,4 ... 0,5 м (рис. 2).

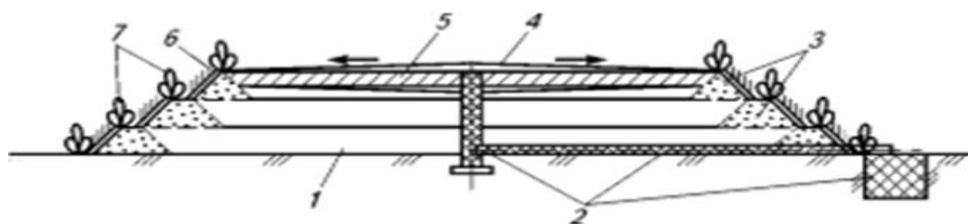


Рис. 2 – Схема рекультивации хвостохранилища для сельскохозяйственного использования

1 – намытые хвосты; 2 – наполненный грутом водопроводящий тракт, ранее предназначавшийся для отвода осветленной воды из прудка отстойника в систему оборотного водоснабжения; 3 – рекультивированные внешние откосы дамб обвалования с посевом трав и посадкой древесно-кустарниковой растительности на каждом ярусе; 4 – плодородный слой почвы; 5 – потенциально плодородный слой грунта; 6 и 7 травянистая и древесно-кустарниковая растительность.

Для отвалов, содержащих в породах токсичные соли, можно рекомендовать следующую схему рекультивации. По верху намытых пород вносят известь дозой около 10 т/га. Затем завозят глину и создают противифльтрационный экран. Для этого привезенную глину распределяют по площади толщиной не менее 0,25 м, доводят ее до оптимальной влажности, и затем уплотняют. По верху экрана отсыпают песок в качестве дренирующего слоя толщиной 0,3 м. Далее завозят супесчаные или суглинистые грунты в качестве почвообразующей породы, распределяя их по площади слоем 0,6 м, и затем отсыпают почвенный слой толщиной 0,2 ... 0,3 м для посева сельскохозяйственных культур или 0,5 м – для древесных растений [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варламов, А.А. Экология землепользования и охрана природных ресурсов [Текст]: / А.А. Варламов, А.В. Хабаров // – М.: Колос, 2021. – 159 с.: ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов сред. спец. заведений).
2. Ржевский, В.В. Открытые горные работы: Производственные процессы: учебник // – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2019.
3. Ржевский, В.В. Открытые горные работы: Технология и комплексная механизация: учебник // – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2018.

ПРОБЛЕМА РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Амельченко В.Н.

Белгородский Национальный Исследовательский Университет (Старооскольский филиал),

Россия, Старый Оскол

Amelchenko_v@bsu.edu.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема происхождения нарушенных земель и их рекультивации. Обозначена эволюция понятия рекультивации, требования к технологии ее выполнения.

Ключевые слова: нарушение земель; рекультивация земель; восстановление продуктивности земель.

THE PROBLEM OF RECULTIVATION OF DISTURBED LANDS

Amelchenko V.N.

Belgorod National Research University (Stary Oskol branch), Russia, Stary Oskol

Abstract. The article deals with the problem of the origin of disturbed lands and their reclamation. The evolution of the concept of reclamation, the requirements for the technology of its implementation are indicated.

Keywords: Land disturbance; land reclamation; restoration of land productivity.

Понятие рекультивации земель – (от латинского *re* – приставка, означающая повторность, возобновление и средне вековое латинское *cultivo* – обрабатываю, возделываю) включает комплекс работ по восстановлению продуктивности и народнохозяйственной ценности земель, улучшению условий окружающей среды.

Нарушение земель происходит при разработке месторождений полезных ископаемых, выполнение геологоразведочных, изыскательских, строительных и других работ. При этом нарушается или уничтожается почвенный покров, изменяется гидрологический режим, образуется техногенный рельеф и др. В результате рекультивации на нарушенных землях создаются сельскохозяйственные и лесные угодья, водоемы различного назначения, рекреационные зоны, площади для застройки. Нарушенные земли, рекультивация которых для хозяйственного использования экономически не эффективна, подлежат консервации биологическими, техническими или химическими методами.

Рекультивация земель обычно осуществляется в два этапа: технический (планировка поверхности, покрытие её плодородным слоем или улучшение грунта, строительство дорог, гидротехнических или мелиоративных сооружений, другие работы в соответствии с проектом) и биологический (агротехнические и фитомелиоративные мероприятия по восстановлению плодородия, ускорению почвообразовательных процессов, возобновление флоры и фауны на рекультивируемых землях).

Основная задача, которую ставили перед рекультивацией нарушенных земель, – восстановление продуктивности (полезности) нарушенных земель. Эта задача – долговременная, стратегическая, так как для ее решения после выполнения основных рекультивационных работ требуется длительное время на последующий биологический период рекультивации. Рекультивация свалок, отвалов токсичных материалов, хвостохранилищ, золошлакоотвалов и других объектов является природоохранной, направленной на защиту окружающих земель, предотвращение эрозионных процессов и создание на этих объектах культурного ландшафта.

Земли, нуждающиеся в рекультивации, подлежат мониторингу, т.е. постоянному наблюдению и изучению по специально разработанной программе во избежание распространения негативных процессов.

Объектами рекультивации являются нарушенные земли, т.е. территории, на которых нарушены, разрушены или полностью уничтожены компоненты природы; растительный и почвенный покров, фунты, подземные воды, местная гидрографическая сеть (ручьи, родники, малые реки, озера и т.д.), изменен рельеф местности. К нарушенным землям относят также загрязненные земли, т. е. земли, на которых в компонентах природы произошло увеличение содержания веществ, вызывающее негативные токсиколоэкологические последствия для биоты. Особое место среди объектов рекультивации занимают нарушенные агрогеосистемы, в которых негативные последствия сельскохозяйственной деятельности вызывают деградацию и разрушение почвенного покрова и, как следствие, снижение его продуктивности.

Рекультивации подлежат нарушенные земли всех категорий, а также прилегающие земельные участки, полностью или частично утратившие продуктивность в результате отрицательного воздействия нарушенных земель. Рекультивация земель является составной частью технологических процессов, связанных с нарушением земель.

Началом рекультивации земель как вида инженерной деятельности можно считать 1926 г., когда началось восстановление земель, нарушенных горными работами в штате Индиана (США). В бывшем СССР рекультивацию земель стали проводить с 1959 г в Эстонии – при добыче сланцев, в России – при добыче бурого угля и на Украине – при добыче железных руд.

Само представление о рекультивации и ее задачах также менялось с течением времени.

Первоначально рекультивацию включали в проекты по разработке полезных ископаемых и поэтому называли горнотехнической, при проведении рекультивации на других землях – стал комплекс инженерных, горнотехнических мелиоративных, лесотехнических, сельскохозяйственных, фитомелиоративных работ.

Основная задача, которую ставили перед рекультивацией нарушенных земель, – восстановление продуктивности (полезности) нарушенных земель. Эта задача – долговременная, стратегическая, так как для ее решения после выполнения основных рекультивационных работ требуется длительное время на последующий биологический период рекультивации. Рекультивация свалок, отвалов токсичных материалов, хвостохранилищ, золошлакоотвалов и других объектов является природоохранной, направленной на защиту окружающих земель, предотвращение эрозионных процессов и создание на этих объектах культурного ландшафта.

Рекультивация нарушенной территории позволяет решить сразу несколько очень важных задач:

- нейтрализовать вредное воздействие нарушенной территории на окружающую среду и в первую очередь на здоровье человека;
- рационально использовать восстановленную территорию для нужд городского, сельского и лесного хозяйства;
- улучшить микроклимат на восстановленной территории по сравнению с зональными характеристиками путем формирования техногенного рельефа с заданными геометрическими параметрами [1].

Рекультивация и технологии ее выполнения должны отвечать определенной совокупности требований, одновременная реализация которых призвана повысить эффективность восстановления компонентов природы. Такой набор требований называют рекультивационным режимом (по аналогии с мелиоративным режимом).

Рекультивационный режим определяется состоянием нарушенных земель и включает следующие показатели:

- эрозионную устойчивость поверхности земли;
- формы рельефа и его параметры (крутизну склонов, линейные размеры элементов рельефа, его экспозицию);
- нормы снятия почвенного слоя и сроки его хранения; геологический и химический состав горных субстратов и потенциально плодородных пород: толщину наносимого почвенного слоя при землевании;
- мощность рекультивационного слоя; пределы регулирования влажности почвы (субстратов) и глубины грунтовых вод;

- направленность и интенсивность водообмена между почвенными и подземными водами: сроки затопления и подтопления земель;
- скорость и направления движения поверхностных и подземных вод;
- значения общей минерализации поверхностных и грунтовых вод;
- содержание токсичных элементов в почвах, горных субстратах, поверхностных, грунтовых и сточных водах;
- агрохимические показатели плодородия почвы: биологический состав почв и поверхностных вод;
- интенсивность формирования наземной и водной биоты;
- эстетические требования к преобразованному ландшафту.

Правовая основа рекультивации нарушенных земель базируется на Основных положениях о рекультивации земель, снятии, хранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы и в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 23 февраля 1994 г. №140 «О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы»[2]. Эти документы определяют общие для Российской Федерации требования при проведении работ, связанных с нарушением почвенного покрова и рекультивацией земель, и являются обязательными для исполнения всеми должностными, юридическими и физическими лицами, в том числе иностранными юридическими и физическими лицами.

Условия приведения нарушенных земель в состояние, пригодное для последующего использования, а также порядок снятия, хранения и дальнейшего применения плодородного слоя почвы, устанавливаются органами, предоставляющими земельные участки в пользование и дающими разрешение на проведение работ, связанного с нарушением почвенного покрова, на основе проектов рекультивации, получивших положительное заключение государственной экологической экспертизы.

Сроки проведения технического этапа рекультивации определяются органами, предоставившими землю и давшими разрешение на проведение работ, связанных с нарушением почвенного покрова, на основе соответствующих проектных материалов и календарных планов.

Выдача разрешений на добычу общераспространенных полезных ископаемых или торфа для собственных нужд и проведение других внутрихозяйственных работ, связанных с нарушением почвенного покрова, осуществляется в порядке, устанавливаемом соответствующими органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации.

Ежегодная статистическая информация о рекультивации земель, снятии и использовании плодородного слоя почвы составляется по состоянию на 1 января всеми

организациями, проводящими работы с нарушением почвенного покрова и после согласования местными (районными, межрайонными, городскими) органами Министерства природных ресурсов России.

За порчу и уничтожение плодородного слоя почвы, невыполнение или некачественное выполнение обязательств по рекультивации нарушенных земель, несоблюдение установленных экологических и других стандартов, правил и норм при проведении работ, связанных с нарушением почвенного покрова, юридические, должностные и физические лица несут административную и другую ответственность, установленную действующим законодательством.

Определение размера причинённого вреда производится по методикам и нормативам, утверждённым в установленном порядке, либо на основе соответствующей проектной документации восстановительных работ, а при их отсутствии – по фактическим затратам на восстановление нарушенного состояния земель с учётом понесённых убытков, в том числе упущенной выгоды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Использование нарушенных территорий в градостроительных целях/ [Сост. В.Д. Оленьков, к. т. н.].-М:МГЦНТИ.-1988
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 февраля 1994 г. №140 «О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы».

БАЗОВЫЙ ПРИНЦИП УСТАНОВКИ БЛОКОВ ОБДЕЛКИ, ПРИ РАБОТЕ ТПМК НА БАЗЕ ГЕОХОДА В КОМПОНОВКЕ, ПРИБЛИЖЕННОЙ К МОДЕЛИ 401

Казанцев А.А.^{1,2}, Яровой С.Е.¹

¹ Филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» в г. Губкине
Белгородской области, Россия, г. Губкин

² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический университет «МИСиС», Россия, г. Старый Оскол

Аннотация. Рассмотрен базовый принцип работы современных тоннелепроходческих комплексов, приведены ключевые отличия проведения выработки тоннеля по геоходной технологии, предложен базовый принцип возведения тоннельной обделки за геоходом с учетом ключевых отличий.

Ключевые слова: тоннелепроходческий комплекс; ТПМК; тоннельная обделка; монтаж обделки; геоход; геоходная технология.

BASIC PRINCIPLE OF LINIG INSTALLATION WHILE TBM IS OPERATING, BASED OF GEOKHOD TYPE SHIELD TECHNOLOGY (MATCH TO MODEL 401)

Kazantsev A.A.^{1,2}, Yarovoy S.E.¹

¹Branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University
"MISIS" in Gubkin, Belgorod region, Russia, Gubkin

² 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

Abstract. Basic principle of operation in modern TBM complexes have been presented, key issues of advancing TBM with geokhod type shield have been undertaken and basic principle of lining installation have been proposed.

Keywords: tunnel boring machine; TBM; Tunnel lining; Instalation of tunnel lining; Geokhod; Geokhod's technology.

Базовый принцип работы современных тоннелепроходческих комплексов заключается в продвигании стальной цилиндрической оболочки (щита) вдоль оси прокладываемого тоннеля и одновременном удалении горной массы. Стальная оболочка удерживает давление горного массива (горное давление) и выступает в роли временной крепи до момента установки

постоянной крепи (обделки). Щит проталкивается вперед вдоль оси тоннеля на расстояние эквивалентное удаленному объему горной массы. Необходимые напорные усилия создаются системой толкающих щит гидроцилиндров, упирающихся в возводимую обделку. Это означает, что тоннельная обделка и тоннелепроходческий щит со всем его оборудованием должны быть увязаны между собой как совместно зависимая система.

Образовавшаяся в результате ведения горнопроходческих работ полость в массиве горных пород, в особенности в наносах, ввиду естественных физических законов с течением времени стремится самоликвидироваться. Поэтому технически невозможно сооружать обделку тоннеля без наличия определенных зазоров между обделкой и приконтурным массивом горных пород. Образованный зазор между обделкой и приконтурным массивом заполняется тампонажным раствором чтобы минимизировать просадку земной поверхности. Поэтому тампонажная система или система нагнетания тампонажного раствора за обделку является неотъемлемой частью современных тоннелепроходческих комплексов [1].

В процессе работы тоннелепроходческого комплекса выработанное пространство поддерживается стенками щита, тоннельной обделкой и тампонажным раствором по всей трассе тоннеля, но забойная часть также может потребовать специальных мер удержания в зависимости от горно-геологических условий вдоль трассы тоннеля. Однако в данной статье эти вопросы рассматриваться не будут, сделаем допущение что эти системы функционируют отдельно, как и в современных ТПМК.

Рассмотрим базовый принцип возведения обделки за геоходом с выделенным внешним двигателем в виде лопастного винта, взаимодействующего с геосредой (приконтурным массивом горных пород) [2].

С учетом ранее рассмотренных вопросов о видах применяемой тоннельной обделки [3, 4] и особенностей геоходной технологии [5-8] можно остановиться на четырех ключевых моментах:

1) используется блочная обделка в виде набора разных по форме сегментов, образующих кольцо (преимущественно прямоугольные сегменты и замыкающий сегмент);

2) используется блочная обделка в виде сегментов одного и того же размера (унифицированных), образующих форму близкую к кольцевой (гексагональная обделка) или спирали (винтовая обделка).

3) отличие в способе формирования напорного усилия на исполнительном органе – в рассматриваемом примере у геохода отсутствуют гидроцилиндры напора, однако, в данном случае, взаимовлияющим фактором, вероятно, будет шаг внешнего двигателя, поэтому ширина блока обделки должна быть пропорциональна шагу внешнего двигателя;

4) наличие законтурных каналов, сформированных внешним двигателем и элементами противовращения, которые: а) необходимо тампонировать, б) возможно использовать для коррекции диаметра проводимой выработки, радиуса трассы тоннеля и затем тампонировать.

С учетом данных особенностей, известных компоновках ТПМК и при любых видах обделки можно предположить, что для геоходной технологии блокоукладчик и связанные с ним системы должны располагаться либо на борту ТПМК на базе геохода, либо представлять из себя независимый модуль, перемещающийся вслед за геоходом, например, для снижения требований к тяговому усилию геохода, что может быть критично для работы в неустойчивых породах.

Учитывая также, что устойчивая скорость проходки тоннелей современных ТПМК достигла цифры в 800 м/сутки [9, 10], несомненно, все операции проходческого цикла должны производиться в совмещенном режиме. Вопросы целостности межвиткового целика от продвигающегося геохода также пока рассматривать не будем, примем допущение о том, что он сохраняется.

Итак, базовый принцип возведения обделки за геоходом, в его компоновке, приближенной к модели 401 будет заключаться в следующем:

Под защитой стальной оболочки (юбки), которая удерживает горное давление и выступает в роли временной крепи до момента установки постоянной, продвигающейся в подземное пространство синхронно с геоходом блокоукладчик возводит блоки постоянной крепи. Стальная оболочка на наружной ее поверхности, вероятно имеет профиль винтовой поверхности, близкий к профилю внешнего двигателя для минимизации просадок земной поверхности, направленный в приконтурный массив [11, 12]. В этом смысле внешний двигатель геохода, вероятно, должен иметь непрерывную винтовую линию и сопрягаться с профилем наружной поверхности стальной оболочки (юбки), либо располагаться непосредственно на ней. Так или иначе для выполнения этого условия можно заключить, что компоновка геохода должна быть с приводом на хвостовую секцию и здесь у нас также есть минимум два рассматриваемых варианта:

1. Хвостовая секция вращается вместе с двигателем и юбкой.
2. Хвостовая секция и юбка не вращающаяся, привод двигателя организован по принципу подшипника скольжения.

При вращающейся стальной оболочке (первый вариант) в хвостовой части геохода возможно использование унифицированных фасонных блоков обделки, имеющих на наружной поверхности профиль (ребро жесткости), близкий к профилю внешнего двигателя геохода, устанавливаемых соответственно по винтовой линии. Вся внутренняя поверхность

стальной оболочки или ее часть, сопрягаемая с блоками обделки, также вероятно, должна иметь внутреннюю винтовую поверхность. Скорость возведения таких блоков должна быть синхронизирована со скоростью вращения стальной оболочки, при этом следующий блок должен быть установлен на место до выхода внутренней винтовой линии оболочки из сопряжения с последним установленным блоком. Внутренняя винтовая линия может служить не только ориентиром, но и фасонным профилем с захватом, облегчающим монтаж последующего блока (местом установки блока). Система тампонажа приконтурного пространства и ее компоновка должна быть идентичной системам, применяемым в современных ТПМК. Щетки уплотнения должны работать по винтовой линии и охватывать некоторое количество блоков, предварительно установленных. Здесь компоновка должна будет иметь явные отличия хотя и схожий принцип герметизации внутреннего пространства тоннеля. Таким принципом можно решить вопрос о частичном (имеется ввиду что полнота заполнения будет достигаться непрерывным и контрольным тампонирующим) заполнении винтовых каналов ребрами жесткости унифицированных блоков в приконтурном массиве, получающихся от систем внешнего движителя, но не продольных каналов элементов противовращения (антикрыла). Отсюда делаем вывод – для снижения объемов тампонирующего продольных законтурных каналов антикрыла их должно быть не более одного, а его (канала) форма – щелевого типа.

При невращающейся стальной оболочке (второй вариант) в хвостовой части геотода использование унифицированных фасонных блоков обделки, имеющих на наружной поверхности профиль, близкий к профилю внешнего движителя геотода не просматривается. В этом случае установка блоков будет мало чем отличаться от современной схемы, однако вопрос о тампонирующем столь больших объемов приконтурного пространства ранее нами не рассматривался. Поэтому использование закладных элементов, подаваемых через отверстие в стальной оболочке в винтовой и продольный канал здесь может иметь место. Система закладных элементов, окружающая обделку будет дополнительно выполнять роль армировки приконтурного массива. А при реализации алгоритмов обособленного ее монтажа еще и базовой поверхности монтажа блоков обделки тоннеля. Таким принципом можно решить вопрос о частичном заполнении и винтовых, и продольных каналов приконтурного массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bernhard Maidl, Markus Thewes, Ulrich Maidl. Handbook of tunnel engineering. Volume I: Structures and Methods © 2013 Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany ISBN: 978-3-433-03048-6

2. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Ефременков А.Б., Казанцев А.А., Бегляков В.Ю., Вальтер А.В. Геоходы - основа создания нового геотехнологического инструментария для формирования подземного пространства и подземной робототехники. В сборнике: Перспективы инновационного развития угольных регионов России. Сборник трудов V Международной научно-практической конференции. Ответственные редакторы Пудов Е. Ю., Клаус О. А., 2016. С. 277-288.
3. Аксенов В.В., Казанцев А.А., Садовец В.Ю. Разработка требований к системе возведения тоннельной обделки для геоходной технологии. Горное оборудование и электромеханика. 2021. – №4 (156). С. 37-44.
4. Аксенов В.В., Казанцев А.А., Дортман А.А. Обзор существующих типов крепи горных выработок и анализ их возможности применения в геовинчестерной технологии. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № S3. С. 130-137.
5. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Бегляков В.Ю., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Разработка требований к основным системам геохода // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 5. с. 3-7.
6. Дронов А.А., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Формирование требований к узлу сопряжения секций геохода // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 8 (126). С. 39-42.
7. Дронов А. А. Требования к узлу сопряжения секций геохода / А. А. Дронов // Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, 24–26 мая 2018 г., Юрга. – Томск : Изд-во ТПУ, 2018. – с. 288-290.
8. Aksenov V.V., Beglyakov V.Y., Kazantsev A.A., Doroshenko I.V. Substantiating Ways of Load Application When Modeling Interaction of a Multiincisal Mining Machine Actuator With Rocks // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 127 (2016) 012032 doi:10.1088/1757-899X/127/1/012032
9. <https://www.canadianundergroundinfrastructure.com/article/28716/robbins-double-shield-tunnel-boring-machine-is-conquering-the-himalayas> Robbins Double Shield tunnel boring machine is conquering the Himalayas. – July 26, 2018
10. <https://www.canadianundergroundinfrastructure.com/article/22320/rossaga-main-beam-sets-norwegian-milestone> Røssåga Main Beam sets Norwegian milestone – December 17, 2015
11. Федунец Б.И., Мазеин С.В. Оснащение щита для минимизации осадки земной поверхности грунтопригрузом тоннелепроходческого механизированного комплекса //

Метро и тоннели. – 2016. – №2. – С.4-6.

12. Мазеин С.В., Прудников А.Д., Лехт В.В. Проектные решения по минимизации осадки земной поверхности грунтопригрузом тоннелепроходческого механизированного комплекса // Метро и тоннели. – 2016. – №3. – С.6-9.

13. Казанцев А.А. Создание опытного образца геохода. План-график реализации основной стадии проекта // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте Сборник материалов II Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Д.М. Дубинкин. 2018. С. 223-227.

14. Казанцев А.А. Создание опытного образца геохода. Временной фактор изготовления компонентов и их сборки в конечное изделие // Инновационные технологии в машиностроении Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. 2018. С. 273-276.

КОНСТРУКЦИЯ ТОННЕЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ ВИНТОВОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ГЕОХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Аксенов В.В.¹, Казанцев А.А.^{2,3}, Яровой С.Е.¹, Садовец В.Ю.⁴

¹ ООО «Сибирское НПО», Россия, г. Кемерово

² Филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» в г. Губкине
Белгородской области, Россия, г. Губкин

³ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»

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

⁴ Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, Россия, г. Кемерово

Аннотация. Рассмотрены возможности современных тоннелепроходческих комплексов (ТПМК), предложена конструкция тоннельной обделки для геоходной технологии.

Ключевые слова: тоннелепроходческий комплекс; ТПМК; тоннельная обделка; геоход; геоходная технология.

DESIGN OF TUNNEL LINING FOR GEOKHOD'S TECHNOLOGY

Aksenov V.V.¹, Kazantsev A.A.^{2,3}, Yarovoy S.E.¹, Sadovets V.Yu.⁴

¹ LLC "Siberian NGO", Russia, Kemerovo

² Branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University
"MISIS" in Gubkin, Belgorod region, Russia, Gubkin

³ 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

⁴ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia

Abstract. A new possibilities of modern TBM complexes while where operation have been considered and basic design of tunnel lining have been proposed.

Keywords: tunnel boring machine; TBM; tunnel lining; geokhod; geokhod's technology.

Говоря о технологии проведения горных выработок и тоннелей ключевым фактором, позволяющем приблизить транспортную революцию можно назвать производительность тоннелепроходческих (горнопроходческих) систем, имея ввиду скорость строительства транспортного тоннеля м/мес., которая, по некоторым экспертным оценкам, зависит от не

менее чем 148 факторов [1]. Достигнутая устойчивая скорость строительства тоннеля у новейших тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) типа double-shield и main beam – 800 м/мес. [2, 3], т.е. уже в 2–2,2 раза выше, чем у лучших образцов ТПМК 30-летней давности [4].

Не исключено, что транспортная революция возьмет старт с инфраструктуры многоуровневых подземных транспортных тоннелей – идее И. Маска, главного исполнительного директора компаний SpaceX, Tesla Motors и SolarCity. По его мнению, вполне возможно увеличить скорость проходки на 500-1000% или достичь уровня 1600 м/нед. [4], что, в свою очередь, можно реализовать благодаря повышению скорости строительства тоннелей за счет совмещения операций проходки и возведения обделки тоннеля (что уже реализовано в ТПМК типа double-shield, а также потенциально может быть реализовано в «геоходной технологии» [5, 6]).

С учетом вышеизложенного, а также сформулированных требований к системе возведения тоннельной обделки для геоходной технологии [7-9] рассмотрим известные варианты высокоточной сегментной обделки. Высокоточная блочная (сегментная) обделка формируется из отдельных колец, связанных между собой метизами. Каждое кольцо состоит из отдельных блоков, число блоков варьируется и может достигать 12 шт. и более, в зависимости от диаметра прокладываемого тоннеля. Каждый блок оборудован гидроизоляционным уплотнением по периметру, блоки подаются в рабочую зону в точной последовательности. Перевязка блоков между собой также осуществляется метизами. Среднее время возведения одного кольца обделки составляет 30 минут. Варианты развертки колец сборной высокоточной обделки представлены на рис. 1, рис. 2.



Рис. 1 – Развертка кольца прямоугольной блочной (сегментной) тоннельной обделки

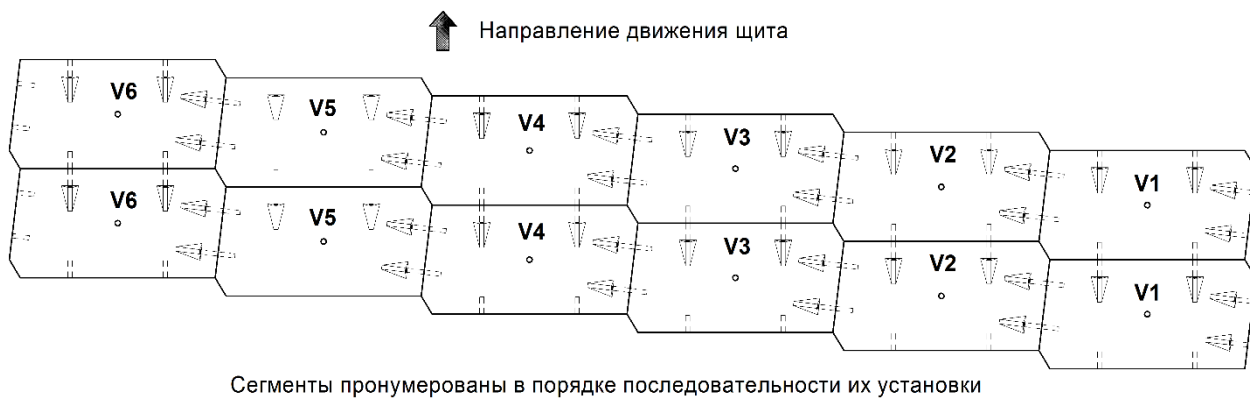


Рис. 2 – Развертка «кольца» винтовой блочной (сегментной) тоннельной обделки

Учитывая базовый принцип перемещения геوخода – подача на забой по винтовой линии наиболее интересной к проработке видится конструкция винтовой сегментной обделки.

На основании конструктивных параметров геوخода модели 401, требований к системе возведения тоннельной обделки для геоходной технологии и с учетом реальных размеров блоков высокоточной обделки, а также рекомендаций по проектированию высокоточной обделки, авторами была предпринята попытка разработки конструктивного решения винтовой обделки с шириной сегмента 0,8 м, представленная на рис. 3. Из представленного конструктивного решения видно, что многие размеры отличаются от общепринятых стандартных рядов и указаны на рисунке намеренно, и по нашему мнению, это является особенностью винтового сегмента с шириной блока 800 мм. Количество блоков в кольце принято равным шести, прогнозируемая масса – около 600 кг. Следует отметить что в конструкции пока предварительно намеренно не проектировались элементы для законтурных каналов, т.к. на данном этапе это усложнило бы конструкцию блока, а для проверки возможности сопряжения блоков достаточно и такой конфигурации. Развертка кольца винтовой обделки, возможная к применению на прямолинейных участках представлена на рис. 2.

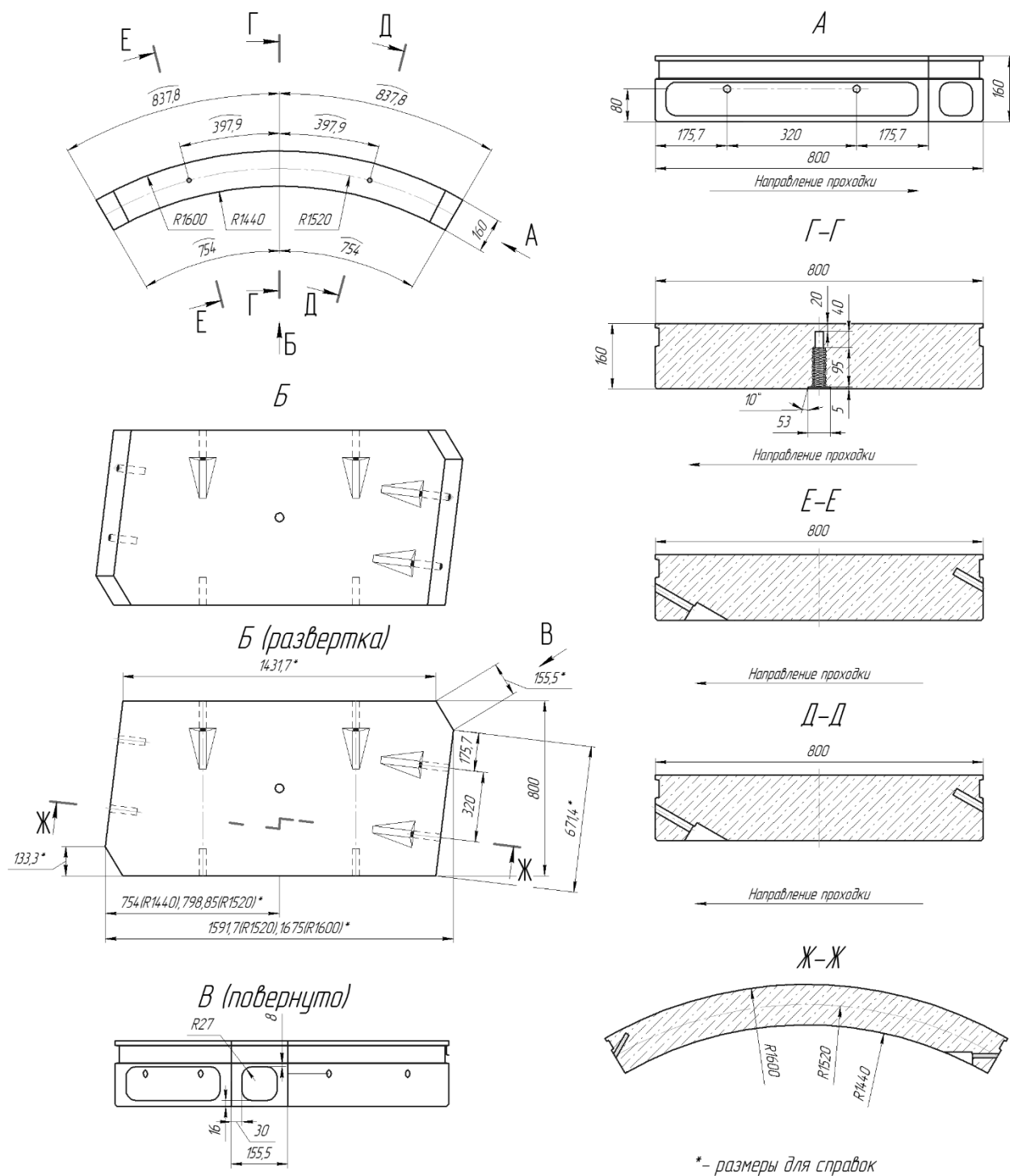


Рис. 3 – Конструктивное решение винтовой обделки для геоходной технологии

Выводы

1. Разработано конструктивное решение винтовой обделки с увязкой параметров обделки с параметрами геохода модели 401 для применения в геоходной технологии.
2. Конструктивные параметры разработанного блока высокоточной обделки потенциально позволяют выполнять быстровозводимую обделку тоннеля за счет унификации элемента и собираемости в простом последовательном порядке, что отвечает требованию и тенденции совмещения операций проходческого цикла в современных ТПМК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Patel, Siddharth & Pandit, Devanshu. (2017). Productivity studies of tunneling projects. Proceedings of International Conference on Frontiers in Engineering, Applied Sciences and Technology (FEAST'17) ISBN 978-81-908388-8-7, Volume -1 (Page No. - 1 to 7), Conference dates - March 32st & April – 1st, 2017
2. <https://www.canadianundergroundinfrastructure.com/article/28716/robbins-double-shield-tunnel-boring-machine-is-conquering-the-himalayas> Robbins Double Shield tunnel boring machine is conquering the Himalayas. – July 26, 2018
3. <https://www.canadianundergroundinfrastructure.com/article/22320/rossaga-main-beam-sets-norwegian-milestone> Røssåga Main Beam sets Norwegian milestone – December 17, 2015
4. <https://www.politico.com/magazine/story/2017/03/elon-musk-tunnel-digging-investment-infrastructure-transportation-214917> T.R. Goldman // Why Elon Musk is throwing money down a hole // PoliticoMagazine, 16 March 2017.
5. Дронов А.А., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Формирование требований к узлу сопряжения секций геохода // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 8 (126). С. 39-42.
6. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Обоснование необходимости разработки трансмиссии геохода // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2009. № 3 (73). с. 24–27.
7. Аксенов В.В., Казанцев А.А. Разработка требований к вспомогательным системам геохода // Инновации в машиностроении. Сборник трудов X Международной научно-практической конференция. Под редакцией В.Ю. Блюменштейна. 2019. С. 280-286.
8. Аксенов В.В., Казанцев А.А., Яровой С.Е. Формулировка требований к системе возведения тоннельной обделки для геоходной технологии // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 148-152.
9. Аксенов В.В., Казанцев А.А., Садовец В.Ю. Разработка требований к системе возведения тоннельной обделки для геоходной технологии. Горное оборудование и электромеханика. 2021. – №4 (156). С. 37-44.

УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Козырев П.И., Новиков П.А.

Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (Губкинский филиал), 309186

Российская Федерация, Белгородская обл. г. Губкин, ул.Комсомольская, 16

Аннотация. В статье рассматривается способ частотного регулирования скорости вращения электропривода с асинхронным двигателем с применением векторного управления. Основным способом регулирования скорости частотно-регулируемого асинхронного привода является регулирование частоты и величины напряжения на статоре двигателя. Такой метод называется скалярным управлением. Область применения таких систем, когда к электрическому приводу не предъявляются повышенных статических и динамических требований (диапазон регулирования 1:10). Если к системам управления электропривода предъявляются повышенные требования применяется векторное управление. Данный способ позволяет осуществлять управление с высокой точностью в широком диапазоне регулирования (до 1:10000) и при малых скоростях. Идея векторного управления заключается в том, чтобы контролировать не только величину и напряжение статора, но и фазу. Другими словами контролируется величина и угол пространственного вектора, помещенного в вращающую систему координат. В статье приведена структура векторного управления и проанализированы взаимодействия контуров регулирования.

Ключевые слова: асинхронный двигатель; частотное векторное управление; частотное скалярное управление; обобщенный вектор; вращающаяся система координат; регулятор.

IMPROVEMENT OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ASYNCHRONOUS FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVE WITH VECTOR CONTROL

Kozyrev P.I., Novikov P.A.

Branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University

"MISIS" in Gubkin, Belgorod region, Russia, Gubkin

Abstract. The article discusses a method of frequency control of the rotation speed of an electric drive with an asynchronous motor using vector control. The main way to regulate the speed

of a frequency-controlled asynchronous drive is to regulate the frequency and magnitude of the voltage on the motor stator. This method is called scalar control. The scope of application of such systems when the electric drive is not subject to increased static and dynamic requirements (control range 1:10). If increased requirements are imposed on the control systems of the electric drive, vector control is applied. This method allows you to control with high accuracy in a wide range of regulation (up to 1:10000) and at low speeds. The idea of vector control is to control not only the magnitude and voltage of the stator, but also the phase. In other words, the magnitude and angle of the spatial vector placed in the rotating coordinate system is controlled. The article presents the structure of vector control and analyzes the interactions of control circuits.

Keywords: asynchronous motor; frequency vector control; frequency scalar control; generalized vector; rotating coordinate system; controller.

В настоящее время частотно-регулируемые электроприводы на основе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором не уступают электроприводам постоянного тока практически по всем основным технико-экономическим показателям, а по некоторым показателям статических и динамических характеристик превосходят его. Это стало возможным благодаря успехам, достигнутым в последнее время в области создания мощных силовых запираемых полупроводниковых приборов с высокими динамическими параметрами и быстродействующих микропроцессорных систем управления. Основным элементом силовых полупроводниковых приборов являются составные биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT). Этот транзистор представляет собой $p-n-p$ транзистор, управляемый от сравнительно низковольтного МОП транзистора с индуцированным каналом. К достоинствам IGBT относятся: ток до 1000 А, напряжение до 1600 В, частота переключений до 60 кГц. Поскольку асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором является самым массовым и дешевым в производстве, высоконадежным и наименее требовательным в эксплуатации (в конструкции нет коллекторно-щеточного механизма), именно асинхронный частотно-регулируемый электропривод стал основным типом серийно выпускаемого регулируемого электропривода.

Основным способом регулирования скорости частотно-регулируемого асинхронного привода является управление путем изменения частоты и величины напряжения на статоре электродвигателя. То есть частота и напряжение являются двумя управляющими параметрами, которые могут регулироваться независимо друг от друга. Обычно за независимый параметр принимается частота, а значение напряжения определяет вид механической характеристики. Такой способ регулирования скорости, базирующийся на изменении средних значений переменных (модулей), то есть скалярных величин (частоты,

напряжения, токов) электродвигателя, называется *скалярным управлением*. Область применения таких систем: асинхронный электропривод к которому не предъявляются повышенных статических и динамических требований (диапазон регулирования 1:10, полоса пропускания контура скорости - не более 10 Гц. Это вентиляторы, насосы и другие общепромышленные механизмы).

Если к системам управления предъявляются повышенные требования к динамическим и статическим характеристикам регулирования выходных переменных привода, а также в случае , когда регулируемой переменной является момент, применяется *векторное управление*. Такое управление применяется в электроприводе главного движения и подач металлорежущих станков, выполняющих задачу быстродействующего регулирования положения, в электроприводах карьерных экскаваторов с циклической резкопеременной нагрузкой и множество других механизмов , где требуется высокая точность управления в широком диапазоне регулирования (до 1:10000) и при малых скоростях вплоть до частоты равной нулю.

Для пояснения принципа векторного управления обратимся к описанию электромагнитных процессов в асинхронном электродвигателе в векторной форме, представленных в системе координат ориентированных по направлению магнитного поля. При разработке векторного управления была поставлена задача создать такую систему управления, в которой, подобно двигателям постоянного тока (ДПТ), можно отдельно управлять моментом и магнитным потоком, при этом поддерживать постоянным потокосцепление. В двигателях постоянного тока существуют отдельные электрические цепи управления магнитным потоком (цепь возбуждения статора) и моментом (цепь напряжения на якоре). В асинхронных электродвигателях с короткозамкнутым ротором есть только один канал, в котором объединены оба составляющие тока и в задачу системы управления входит функция их разделения. Математически эта задача решается при использовании уравнений обобщенной электрической машины в векторной форме. В результате выбора параметры векторных величин, образующих электромагнитный момент и системы координат, в которой они представлены, можно получить уравнение момента в виде функции независимых проекций этих величин на координатные оси. Тогда управление моментом сводится к управлению проекциями векторов. При построении системы векторного управления используются математические модели асинхронного двигателя, позволяющие создавать независимые каналы управления продольной (I_d) и поперечной (I_q) составляющих тока статора.

Рассмотрим некоторые системы координат, которые используются при векторном управлении. Токи, магнитные потоки, напряжения асинхронного двигателя могут быть

представлены как векторы в некоторой системе координат. В зависимости от используемой системы координат соотношения, описывающие процессы, происходящие в электродвигателе, будут иметь различный вид.

Сначала рассмотрим неподвижную трехфазную систему координат. Система имеет три оси, расположенные на плоскости под углом в 120^0 . Эти оси пересекаются в начале координат (рис.1). Данная система позволяет отобразить процессы, происходящие в электродвигателе, на плоскость при представлении токов, напряжений и потокосцеплений в виде вращающихся векторов.

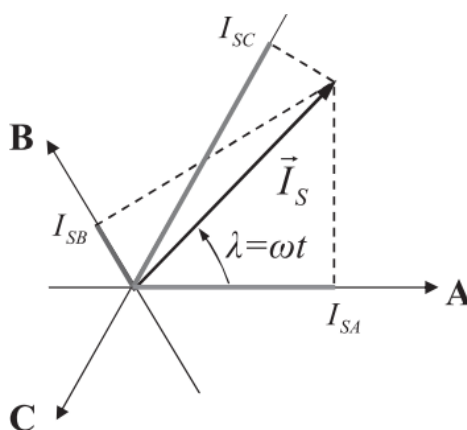


Рис. 1 – пересечение осей в начале координат

Например, трехфазный ток в обмотках статора электродвигателя можно представить в виде вектора I_s , имеющего следующие свойства:

- амплитуда вектора равна амплитуде тока в фазе;
- начало вектора совпадает с началом координат;
- вектор вращается на плоскости вокруг начала координат с угловой скоростью, соответствующей частоте переменного тока ($\omega = 2\pi f$).

При вращении такого вектора с частотой " ω " его проекции на соответствующие оси будут меняться по синусоидальному закону, при этом между синусоидами в каждой фазе будет сохраняться сдвиг в 120^0 . Таким образом, три связанные скалярные величины фазных токов характеризуются в данной системе координат *обобщенным вектором*. Во время работы асинхронного электродвигателя создается вращающееся магнитное поле, то есть реально, физически существует вращающийся магнитный поток.

Следующая система координат - неподвижная Декартова система имеет две перпендикулярные оси " α " и " β " (рис.2). Удобно выбирать оси так, чтобы одна из них совпадала с одной из трехфазных осей. Начало координат совпадает с началом трехфазной системы. Переход из трехфазной системы в двухфазную называют переходом от реальной

трехфазной машины к абстрактной, обобщенной двухфазной. Формулы перехода от одной системы к другой можно определить из рис.2

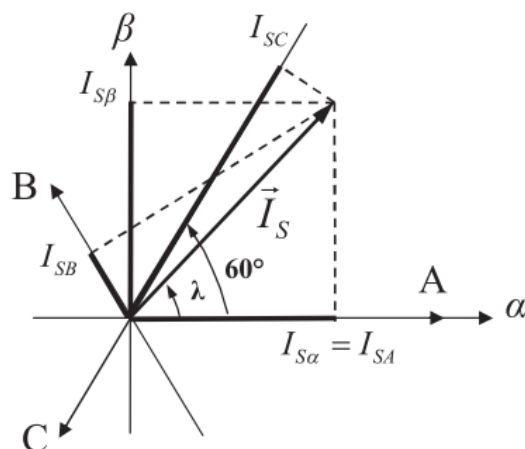


Рис. 2 – определение формул перехода

Следующей системой координат, которая применяется при векторном управлении, является вращающаяся Декартова система координат "XY" (d q). Система имеет две перпендикулярные оси X и Y (Рис.3). Начало координат совпадает с началом трехфазной (двухфазной) неподвижной системы. Оси системы X и Y вращаются с произвольной скоростью " ω " вокруг начала координат.

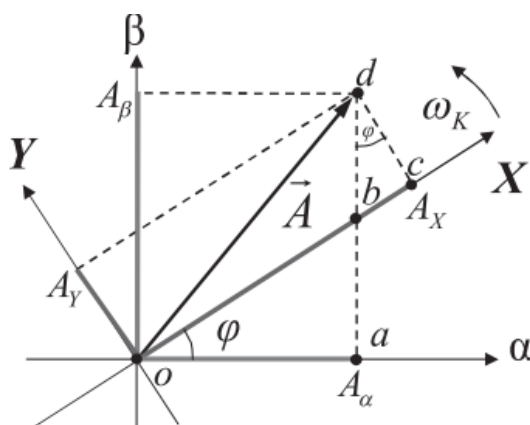


Рис. 3 – вращающаяся Декартова система координат "XY" (d q).

Для векторного управления применяют, именно, вращающуюся двухфазную систему координат с синхронной частотой " ω ". Поскольку управляемый вектор не вращается относительно данной системы координат, его амплитуда и фаза определяются двумя скалярными величинами проекций на оси координат этой системы. Следовательно управление вектором, в данном случае, можно свести к управлению величиной и знаком его

проекций. В этом случае проекции векторов будут постоянными величинами, и управление будет подобно управлению токами якоря и возбуждения двигателя постоянного тока. В случае применения неподвижной системы координат, то проекции векторов будут синусоидальными функциями и управление таких параметров будет сложно. Вращение системы координат учитывают с помощью специальных формул координатных преобразований, измеряя или вычисляя угол ее поворота относительно неподвижной системы координат.

На Рис.4 изображена структурная схема системы векторного управления скорости асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Управлять скоростью электродвигателя можно изменяя его момент, то есть система должна содержать регулятор скорости, задающий момент и структуру, обеспечивающую его отработку. Момент электродвигателя можно менять с помощью управления статорным током (вектором статорного тока). Тогда для получения системы необходимо связать момент электродвигателя с параметрами вектора статорного тока.

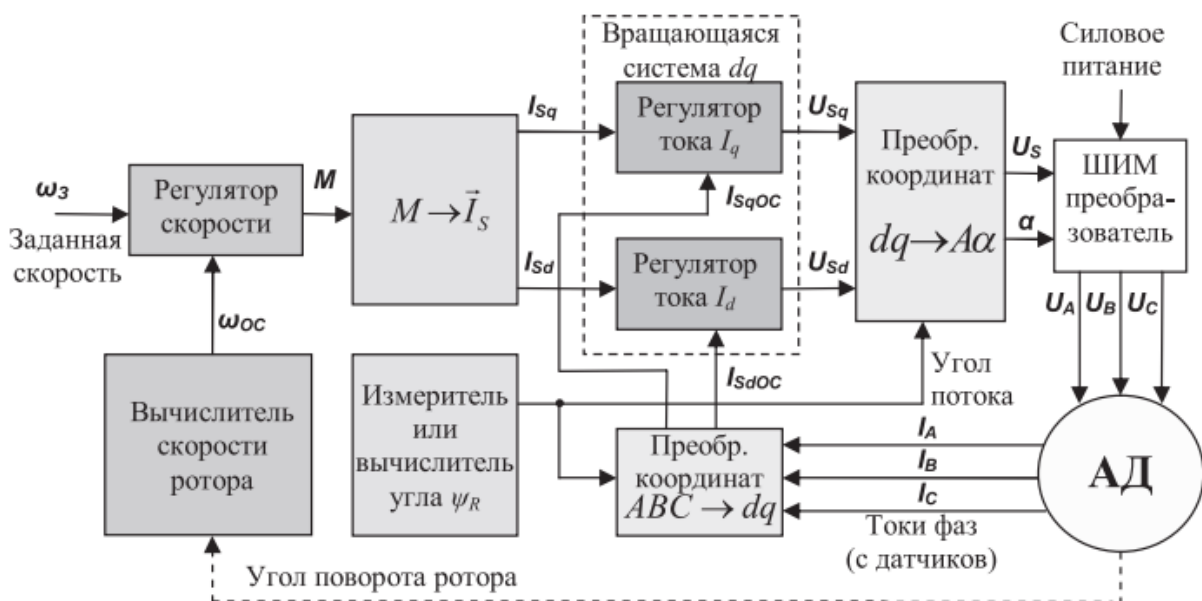


Рис. 4 – структурная схема системы векторного управления скоростью асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

При векторном управлении регулирование осуществляется в системе координат, вращающейся синхронно с векторами состояния электродвигателя. Эту систему координат можно связать с различными векторами состояний, но чаще всего, ее связывают с вектором " Ψ_R " - потоком ротора. Оси этой двухфазной системы координат называют " d " и " q ", причем по току статора ориентируют ось " d " этой системы.

Векторный регулятор тока, работающий во вращающейся системе координат, состоит из двух скалярных регуляторов d и q проекций вектора и использует в качестве обратной связи измеренный и преобразованный в систему dq реальный вектор статорного тока. Регулятор тока формирует в системе dq вектор напряжения статора, характеризующийся двумя составляющимися U_{sd} и U_{sq} . Далее с помощью координатных преобразований вектор напряжения статора переводится в неподвижную систему координат, связанную со статором, где и реализуется. Реализация вектора напряжения статора осуществляется с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Кроме того, для осуществления координатных преобразований необходимо знать текущий угол поворота системы dq (угол поворота Ψ_R). Этот угол необходимо измерить или вычислить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. вузов. Издательский центр "Академия", 2007, - 272с.
2. Макаров Л.Н. Особенности работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в системе частотного регулирования / Л.Н. Макаров, С.В. Ястреба // Электротехника, 2007. - № 11. - С 15 - 18.
3. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006, - 94с.
4. Воронин П.А. Системы управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода / П.А. Воронин; Оренбургский гос. ун-т Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2011, 51с.
5. Вейнгер А.М. Регулируемые электроприводы переменного тока, Москва, 2003.

РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ФАБРИКИ ОБОГАЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Козырев П.И., Новиков П.А.

Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (Губкинский филиал), 309186

Российская Федерация, Белгородская обл. г. Губкин, ул.Комсомольская, 16

Аннотация. В статье рассматривается метод регулирования реактивной мощности в системе электроснабжения фабрики обогащения с помощью изменения тока возбуждения синхронных двигателей, мощность которых на фабрике достаточно велика. Как известно электроприемники потребляют из сети полную мощность, состоящую из активной и реактивной составляющих. Полезной мощностью, которая преобразуется в механическую, тепловую и другие виды энергии является только активная мощность. Реактивная мощность не производит работы, она отражает обменные процессы передачи электромагнитной энергии в сетях переменного тока. Из вышеизложенного следует, что уменьшая реактивную мощность, мы уменьшаем полную потребляемую мощность из сети. Это приведет к уменьшению потерь напряжения и мощности в сопротивлениях проводов сети и трансформаторов, а также к уменьшению платы предприятия за электроэнергию.

Ключевые слова: активная мощность; реактивная мощность; полная мощность; синхронный электродвигатель; компенсация реактивной мощности; ток возбуждения синхронного двигателя; коэффициент активной мощности $\cos\varphi$.

REGULATION OF REACTIVE POWER IN THE POWER SUPPLY SYSTEM OF THE ENRICHMENT PLANT USING SYNCHRONOUS MOTORS

Kozyrev P.I., Novikov P.A.

Branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University

"MISIS" in Gubkin, Belgorod region, Russia, Gubkin

Abstract. The article deals with the method of regulating the reactive power in the power supply system of the enrichment plant by changing the excitation current of synchronous motors, the power of which is quite large at the factory. As you know, electric receivers consume full power from the network, consisting of active and reactive components. The useful power that is converted into mechanical, thermal, and other types of energy is only the active power. Reactive power does not

produce work, it reflects the exchange processes of the transmission of electromagnetic energy in AC networks. From the above, it follows that by reducing the reactive power, we reduce the total power consumed from the network. This will lead to a reduction in voltage and power losses in the resistances of the network wires and transformers, as well as to a reduction in the company's payment for electricity

Keywords: active power; reactive power; total power; synchronous motor; reactive power compensation; synchronous motor excitation current; active power factor $\cos\varphi$.

Система электроснабжения фабрики обогащения связана с внутренней системой электроснабжения комбината. Потребители фабрики обогащения №2 получают электроэнергию по двум шинопроводам ШП-1 и ШП-2, которые подключены к главной понижающей подстанции ГПП-3 напряжением 110/6 кВ. К ШП-1 и ШП-2 подключены распределительные подстанции 9-10, 11-12-13, 14-15, 16-17, к которым подключена нагрузка в виде КТП-6/0,4 кВ, синхронных и асинхронных электродвигателей мельниц, насосов, и конвейеров. В нормальном режиме четные секции распределительных подстанций подключены к ШП-1, а нечетные к ШП-2.

Электроприемники потребляют из сети полную мощность, состоящую из активной и реактивной составляющих. Многие приемники потребляют из сети ток, который отстает от приложенного к нему напряжения (электродвигатели, трансформаторы, электромагнитные реле и др.). Это связано с тем, что в приемнике имеются индуктивности, создающие магнитный поток, необходимый для работы электрического приемника. В обмотках приемника при протекании переменного тока индуцируются реактивные электродвижущие силы, обуславливающие сдвиг по фазе на угол φ между вектором напряжения и вектором тока.

Принято, что если потребляемый ток отстает от напряжения (индуктивный характер нагрузки) по фазе, то реактивная мощность имеет положительное значение и в этом случае говорят о потреблении реактивной мощности и она имеет положительное значение. Если вектор тока опережает вектор напряжения (при емкостном характере нагрузки), то реактивная мощность имеет отрицательное значение и тогда говорят о генерации реактивной мощности.

Реактивная мощность отражает обменные процессы передачи энергии в сетях переменного тока. Она, протекая по элементам сети, загружает их, вызывает в них падение напряжения и потери активной и реактивной мощности, но при этом в нагрузке не производит полезной работы. Отсутствие полезной работы при потреблении реактивной мощности объясняется тем, что количество энергии за период перенесенной в одном направлении, равно количеству энергии поступающей в обратном направлении. Реактивная мощность характеризует скорость обмена электромагнитной энергии между источниками и

потребителями электрической энергии. Индуктивные элементы сети служат накопителями реактивной мощности, а емкостные ее генерируют. Реактивная мощность не производит работы, но она необходима для создания электромагнитного поля, например двигателя, без которого он не может работать.

Зависимость между активной, реактивной и полной мощностью определяется по формуле через, так называемый, треугольник мощности:

$$P = S \cos\varphi, \quad Q = S \sin\varphi \quad (1)$$

где: P – активная мощность;

Q – реактивная мощность;

S – полная мощность.

Из приведенных формул следует, что при $P = \text{const}$ при увеличении $\cos\varphi$ полная мощность (S) уменьшается, что происходит только за счет уменьшения реактивной мощности. Снижение мощности (S) приводит к уменьшению тока в сети. Это приведет к уменьшению потерь напряжения и мощности в сопротивлениях проводов сети, обмотках трансформаторов. При уменьшении тока сечения названных элементов могут также быть уменьшены. У трансформаторов это приводит к уменьшению габаритных размеров, расхода материалов на изготовление, массы, номинальной мощности и стоимости. В действующей установке повышение $\cos\varphi$ при существующей площади поперечного сечения проводов позволит увеличить число приемников, которые могут быть подключены к данной сети.

Из выше сказанного следует, что для увеличения $\cos\varphi$ необходимо уменьшить (компенсировать) реактивную мощность. На предприятиях необходимо поддерживать $\cos\varphi$ в пределах от 0,9 до 0,95 для того, чтобы уменьшить платежи за потребление реактивной мощности, снизить нагрузку на линии, кабели и трансформаторы и в тоже время застраховаться от перекомпенсации (работы с генерацией реактивной энергии во внешнюю энергосистему), возможной при $\cos\varphi$ больше 0,97.

На практике существует несколько способов компенсации реактивной мощности. Одним из способов по компенсации реактивной мощности является применение конденсаторных установок соответствующей мощности, включаемой параллельно с устройством (например асинхронным двигателем), Эффективным средством является использование статических тиристорных компенсаторов СТК и синхронных компенсаторов. Но эти технические мероприятия требуют вложения дополнительных денежных средств, которые не всегда предусмотрены техническими программами модернизации в системах электроснабжения.

Для фабрики обогащения №2 Лебединского ГОКа предлагается способ компенсации реактивной мощности с помощью увеличения тока возбуждения в синхронных электродвигателях мельниц фабрики, суммарная мощность которых значительная. Регулирование тока возбуждения двигателя при работе в синхронном режиме осуществляет, как правило, система автоматического регулирования (САР) возбуждения, которая выполняет две основные функции. Первая - это обеспечение устойчивой работы в синхронном режиме. При увеличении нагрузки или снижении напряжения питания САР возбуждения увеличивает ток возбуждения, благодаря чему увеличивается максимальный момент двигателя в синхронном режиме. Вторая функция - это автоматическое регулирование реактивной мощности, циркулирующей в статорной цепи двигателя.

Важным достоинством синхронных двигателей является возможность регулирования величины реактивной мощности, циркулирующей в цепи статора. Кроме того, потребляя активную мощность, синхронный двигатель одновременно генерирует реактивную мощность, то есть является компенсатором реактивной мощности, потребляемой другими параллельно работающими приемниками электрической энергии, прежде всего асинхронными двигателями..

Возможность регулирования реактивной мощности в цепи статора двигателя путем изменения тока возбуждения показана на Рис. 1.

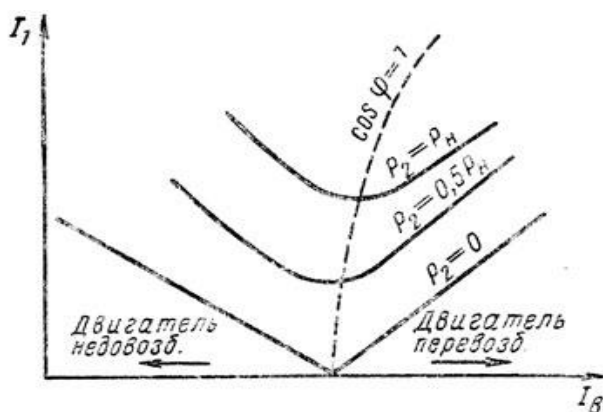


Рис. 1 – U-образные характеристики синхронного двигателя.

Если ток возбуждения меньше номинального (двигатель недовозбужден) ток статора I_1 отстает от напряжения сети U_1 на угол φ , то есть двигатель работает с отстающим $\cos \varphi$ (реактивная мощность потребляется). При увеличении тока возбуждения ЭДС, наводимая в обмотках статора, увеличивается и может достигнуть такого значения, при котором ток статора будет совпадать по фазе с напряжением то есть $\cos \varphi = 1$. Момент на валу двигателя при этом будет такой же, как и в предыдущем случае, но реактивная мощность будет равна

нулю. Этот режим является энергетически наиболее выгодным для синхронного двигателя, так как потери в статоре будут минимальными. Если еще больше увеличить ток возбуждения, то ток статора будет опережать по фазе напряжение, $\cos\varphi$ станет опережающим и синхронный двигатель будет генерировать реактивную мощность.

Мероприятия по компенсации реактивной мощности выполняются по шинопроводу ШП1. Для определения тока возбуждения синхронных электродвигателей подсчитаем суммарную нагрузку по всем распределительным подстанциям и сведем в таблице 1.

Таблица 1 – Количество синхронных и асинхронных двигателей и их мощности, подключенные к ШП

№ п.п	ПС	Секция	ШП-1	СД, Мощн., Р кВт	К-во Шт.	АД, мощн., Р кВт	К-во Шт.	Суммарн. Мощн., Р кВт
1	9-10	9	+	2500	2	-	-	5000
	-/-	-/-	+	-	-	500	3	1500
	-/-	-/-	+	-	-	315	1	315
2	11-12-13	9	+	4000	1	-	-	4000
	-/-	-/-	+	3150	1	-	-	3150
	-/-	13	+	-	-	400	3	1200
3	11-12-13	13	+	4000	1	-	-	4000
	-/-	-/-	+	3150	1	-	-	3150
	-/-	15	+	-	-	500	3	1500
4	14-15	-/-	+	4000	1	-	-	4000
	-/-	-/-	+	3150	1	-	-	3150
	-/-	17	+	-	-	500	3	1500
5	16-17	17	+	4000	1	-	-	4000
	-/-	-/-	+	3150	1	-	-	3150
	-/-	-/-	+	-	-	500	3	1500
	-/-	-/-	+	-	-	630	1	630
				$\sum_{сд}$	-	-	-	33300
						$\sum_{ад}$	-	6645

Как видно из таблицы, к ШП-1 подключена большая мощность синхронных электродвигателей, что позволяет с их помощью выполнить компенсацию реактивной мощности, регулируя ток возбуждения.

Кратко опишем принцип работы системы автоматической регулировки реактивной мощности с помощью изменения тока возбуждения синхронных двигателей. С преобразователей активной и реактивной мощности Е859/1 и Е 860/1, установленных на ШП-

1 токовой сигнал подается на блок деления с которого напряжение пропорциональное $\text{tg}\varphi = P_R/P_A$ подается на устройство управления, где формируется команда для коррекции возбуждения поддерживающего $\text{tg}\varphi$ в пределах 0,02 - 0,15 (что соответствует $\cos\varphi$ в пределах 0,9 - 0,95).

При выходе коэффициента реактивной мощности $\text{tg}\varphi$ из этой зоны формируется команда на увеличение или уменьшение тока возбуждения. Команды управления поступают на платы управления, расположенные на возбудительных устройствах (ТЕ-8) синхронных двигателей данного ШП. Пусковые устройства формируют команды на изменения тока возбуждения ступенями по 15-20А для компенсации реактивной мощности. Схема управления тока возбуждения синхронного двигателя представлена на Рис.2.

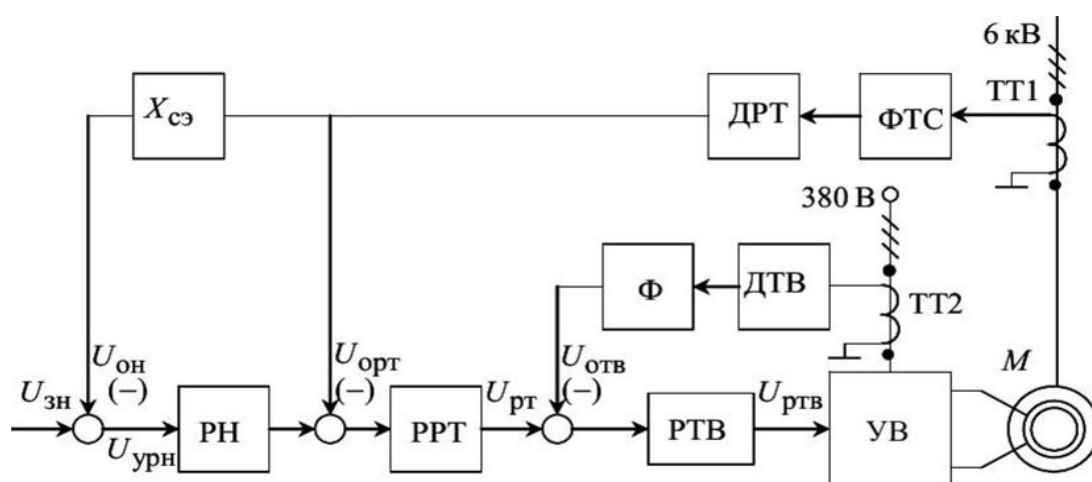


Рис. 2 – Схема управления возбуждением синхронного двигателя.

Возможности существующей САР тока возбуждения можно усовершенствовать, для чего требуется ее модернизация. При модернизации необходимо использовать возможности программно вычислительного комплекса на базе микропроцессорных контроллеров управляющих технологическим процессом обогащения (или отдельных микроконтроллеров). Сигналы поступают с преобразователей активной и реактивной мощности на аналоговые входы контроллеров, которые установлены в технологических операторских. Внутренняя алгоритмическая структура контроллера позволяет построить схемы управления током возбуждения синхронных двигателей приводов мельниц, с выдачей сигнала с аналогового выхода контроллера на возбудительное устройство (ТЕ 8-320).

Из вышеизложенного следует, что уменьшая реактивную мощность, мы уменьшаем полную потребляемую мощность из сети. Это приведет к уменьшению потерь напряжения и мощности в сопротивлениях проводов сети и трансформаторов, а также к уменьшению платы

предприятия за электроэнергию.

В данной работе рассматривается вопрос компенсации реактивной мощности без установки какого-либо дополнительного силового оборудования. Затраты составляют только на установку дополнительного оборудования системы управления. Расчет годовой экономической эффективности внедрения данной системы по фабрике обогащения №2 составляет около 12 миллионов рублей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.К. Паули, Р.А. Воротников Компенсация реактивной мощности как эффективное средство рационального использования электроэнергии. Энергоэксперт. - 2007. - №2.
2. Порядок расчета значений соотношения потребляемой активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств потребляемой электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об указании услуг по передаче электрической энергии (договоры электроснабжения). Утвержден приказом Минэнерго России от 22.02.2007. №49.
3. Ю.С. Железко Методы расчета нагрузочных потерь электроэнергии в радиальных сетях 0,38 - 20 кВ по обобщенным параметрам схем. Электрические станции. - 2006. - №1.
4. Г.Б. Онищенко: Электрический привод: учебник для студ. высш. учеб. заведений 2-е изд. стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008, - 288с.
5. Л.А. Плащанский: Основы электроснабжения горных предприятий. - М: Энергия, 2005. -498с.

К ВОПРОСУ БЕЗОПАСНОЙ ОТРАБОТКИ ВЫСОКИХ УСТУПОВ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ

Лебедев О.Ф., Бабанин Н.Г.

*Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (Губкинский филиал), 309186
Российская Федерация, Белгородская обл. г. Губкин, ул.Комсомольская, 16*

Аннотация. Рассматривается процесс управления механизмом обрушения высоких уступов при гидровскрышных работах путем поддержания параметров, необходимых для безопасного проведения и повышения эффективности горных работ.

Ключевые слова: гидровскрышные работы; параметры уступа; форма уступа; устойчивость бортов карьера.

ON THE ISSUE OF SAFE MINING OF HIGH LEDGES IN A HYDRO-MECHANIZED WAY

Lebedev O.F., Babanin N.G.

*National Research Technological University "MISiS" (Gubkin branch),
309186 Russian Federation, Belgorod region. Gubkin, Komsomolskaya st., 16*

Abstract. Controlling of high ledges collapsing during hydraulic excavation operation in open pit mines of KMA is considered. The main parameters of the excavation are shown, taking into account the safety and productivity of mining operations.

Keywords: hydraulic excavation; ledge parameters; the shape of the ledge; the quarry sides stability.

На месторождениях со слабосвязными надрудными породами перспективным направлением повышения эффективности их отработки является использование сил гравитации в процессе отделения массива от массива. Это может быть достигнуто путем управления выводом массива из устойчивого состояния и поддержания процесса обрушения в безопасном режиме. Данная технология называется «обрушение уступов» [1]. Такая технология позволяет вести отработку высоких уступов, что дает возможность увеличить концентрацию горных работ, уменьшить протяженность внутрикарьерных транспортных коммуникаций.

В отношении гидровскрышных работ, которыми на карьерах КМА с начала отработки извлечено из массива и уложено в гидроотвалы более 450 млн. м³ рыхлых пород [2], высокими рабочими уступами считаются уступы высотой около 30 м. Однако, детальное изучение закономерностей обрушения уступов, сложенных различными по составу породами, позволяют, в некоторых случаях, увеличить высоту безопасно отрабатываемых уступов до 50 м. Так, исследованиями НИИКМА [3] было установлено, что при гидромониторной отработке комбинированных уступов, обрушение носит особый характер. В соответствии с геологическим строением вскрышной толщи Лебединского карьера отработке средствами гидромеханизации подлежали горизонты песка ($K_{1-2} \text{ см} + \text{ал}$), природного мела ($K_2 \text{ т} + \text{сн}$) и суглинков (Q_4). При этом предварительное рыхление для повышения производительности гидромониторно-землесосных установок осуществлялось только для природного мела. В случае, когда производилась отработка сдвоенного уступа, сложенного в нижней части толщей песка (мощностью 30 м), а в верхней – разрыхленными меловыми породами, то обрушение уступа происходило в два этапа. Устойчивой формой при этом была форма, характеризующаяся выступающей вперед нижней частью (рис.1). На первом этапе отработки, при осуществлении врубобообразования гидромониторной струей внизу забоя, песок обрушался мелкими порциями, которые незамедлительно удалялись водным потоком в зумпф землесосной установки. Когда нижняя часть уступа удалялась, наступал второй этап обрушения – происходило разрушение верхней части песчаной толщи и вся масса мела, располагающаяся над разрушенной частью песка, обрушалась вниз и форма уступа возвращалась к устойчивому виду.

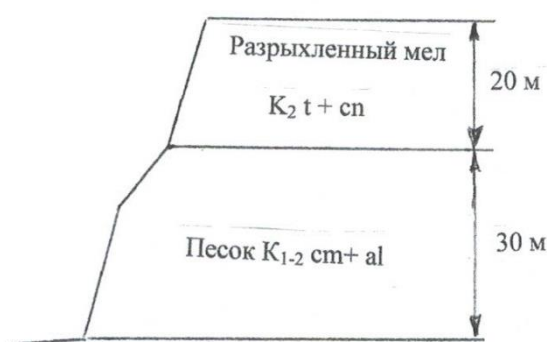


Рис. 1 – Форма устойчивого высокого (до 50 м) уступа борта карьера

Таким образом, происходит разновременное обрушение нижней и верхней части уступа, обеспечивающее на каждом этапе отделение от массива не более 30 м высоты забоя и тем самым гарантирующее безопасность отработки. Параметры уступа, вызывающие такой характер обрушения, составляют следующие величины: высота горизонта песков – 30 м;

высота горизонта разрыхленного природного мела – 20 м; мощность разрушенной (наклонной части) песка – около 10 м; угол ее наклона – около 50^0 ; глубина обрушаемой верхней части – 7-8 м. Механизм обрушения в данном случае заключается в следующем. При устойчивой форме уступа нижний выступ является природным контрфорсом, который защищает верхнюю часть песчаного пласта от разрушения. После того, как этот выступ удалялся, давление от веса вышележащей толщи разрыхленного мела, которое составляет ($\sigma = \gamma H = 1300 \text{ кг/м}^3 \times 9,8 \text{ м/с}^2 \times 20 \text{ м} = 254 \text{ кН/м}^2$) 0,254 МПа, раздавливает верхнюю часть песчаного массива в условиях одноосного сжатия (сопротивление песка одноосному сжатию составляет около 0,013 МПа). При этом разрушение верхней части песчаной толщи происходит в сторону свободной поверхности массива с образованием плоскости скольжения наклонной к горизонту под углом $37-50^0$. В результате образуется устойчивая форма уступа, которая сохраняется длительное время без обрушений, несмотря на динамические воздействия от взрывных работ, производимых в карьере. Примером устойчивости такой формы уступа может служить тот факт, что в период межсезонья (с ноября по март), когда не производятся гидровскрышные работы, не зафиксировано ни одного самопроизвольного обрушения таких уступов.

Отработка высоких уступов с вышеперечисленными параметрами успешно осуществляется в карьере Лебединского ГОКа, что позволяет повысить эффективность гидровскрышных работ за счет увеличения производительности гидромониторных установок из-за меньшего количества перестановок гидромониторно-землесосного оборудования и переукладки пульпопроводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шапарь А.Г. Разработка высоких уступов обрушением. М.: Недра, 1985. 356 с.
2. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ: Учебник для вузов. М.: Изд – во МГГУ, 2003. 473с.
3. Лебедев О.Ф. Инженерно-геологические аспекты безопасной гидромониторной отработки песчаных и меловых (глинистых) пород едиными высокими уступами // Состояние и перспективы развития средств и технологии гидромеханизации в регионе КМА: материалы областной научно – технической конференции. Губкин. 1988. С.7 – 10.

ЗНАЧЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЛУЖБЫ НА ГОРНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Козлова М.С.

Россия, Старый Оскол, СОФ МГРИ им. Серго Орджоникидзе,

e-mail: kozlova_m_s@mail.ru

***Аннотация.** В статье рассматриваются значение и задачи маркшейдерской службы для нормального функционирования горного производства.*

Ключевые слова: маркшейдер; горные работы; выработка; рекультивация; план; сдвиг; план горных работ; геодезические инструменты; недра.

THE IMPORTANCE OF THE SURVEYING SERVICE AT A MINING ENTERPRISE

Kozlova M.S.,

Russia, Stary Oskol, SOF MGRI im. Sergo Ordzhonikidze,

e-mail: kozlova_m_s@mail.ru

***Abstract.** The article discusses the importance and tasks of the surveying service for the normal functioning of mining production.*

Keywords: surveyor; mining; excavation; reclamation; plan; displacement; mining plan; geodetic tools; subsoil.

Маркшейдерское дело, как отрасль горного дела, представляет одну из служб горного предприятия. Первоочередной задачей маркшейдерской службы является составление планов горного предприятия, обеспечивающих нормальное функционирование производства и отображающих как состояние недр совместно с проведенными в них выработками, так и сооружения на земной поверхности.

Маркшейдером сегодня называют специалиста, который занимается проведением пространственно-геометрических измерений в недрах земли. В результате труда маркшейдера появляются различные планы и разрезы, необходимые для проведения горных и геологоразведочных работ.

Маркшейдер участвует во всех этапах работы горного предприятия, начиная с разведки месторождений и кончая ликвидацией предприятия. Причем каждый этап требует своей специфики производства маркшейдерских работ.

Разведка месторождений полезных ископаемых. При разведке месторождений

полезных ископаемых маркшейдер участвует в съемке земной поверхности; согласно проекту геологоразведочных работ определяет и задает в натуре положение разведочных выработок (шурфов, канав, штолен и т. п.); производит съемку разведочных выработок, мест взятия проб, обнажений горных выработок, элементов залегания пластов полезного ископаемого и вмещающих пород; совместно с геологом составляет на основе съемок графическую документацию, отражающую форму и условия залегания месторождения. Существенное значение для оценки месторождений имеют работы маркшейдеров по составлению различных горногеометрических графиков, отражающих качественные свойства полезного ископаемого. Маркшейдерские планы и разрезы, построенные по данным геологической разведки, используются для подсчета запасов и проектирования горного предприятия.

Проектирование и строительство горного предприятия. При проектировании горных предприятий маркшейдер участвует в проектно-изыскательских работах: в оформлении границ шахтных полей в соответствии с действующими положениями о горных и земельных отводах; в проектировании системы разработки и сооружений на поверхности; в разработке мер охраны сооружений (поверхностных и подземных) от вредного влияния подземных разработок; в составлении графиков организации и планов горных работ в процессе строительства и эксплуатации месторождения; в подсчете потерь и промышленных запасов полезных ископаемых.

При строительстве горных предприятий маркшейдер выполняет широкий круг задач, связанных с перенесением проекта в натуру (планировка промышленной площадки, разбивка центра и осей ствола, разбивка осей шахтного комплекса, трассировка подъездных путей и т.д.). Он осуществляет контроль строительства подъемного комплекса, проходки и армирования ствола и проведения капитальных выработок, выполнения проекта специальных методов строительства стволов шахт.

Эксплуатация месторождений. Роль маркшейдера при разработке месторождений полезных ископаемых исключительно велика: он производит съемки выработок; задает направления горным выработкам; по результатам съемок составляет планы; осуществляет контроль ведения горных работ в соответствии с проектами и правилами безопасности; выполняет соединительные съемки, обеспечивающие связь поверхностных и подземных маркшейдерских опорных сетей; производит постоянный контроль полноты извлечения полезного ископаемого; осуществляет наблюдения за сдвижением и давлением горных пород; участвует в составлении мер охраны сооружений, природных объектов, горных выработок от вредного влияния подземных разработок и реализует направления рекультивации нарушенных горными работами земель, принимает участие в планировании как очистных, так и подготовительных работ, составляет квартальные, годовые и перспективные планы развития

горных работ; предоставляет данные объемов добычи и потерь для учета движения балансовых запасов.

При ликвидации и консервации горного предприятия маркшейдер определяет полноту выемки полезного ископаемого, а также наряду со съемкой горных выработок и пополнением планов горных работ готовит журналы вычислений подземных съемок и ориентировок шахт для передачи на хранение в архивы.

Маркшейдер - должность повышенной ответственности. Соблюдение проектных параметров разработки недр, параметров и деформаций зданий и сооружений горного предприятия, контроль над соблюдением техники безопасности, над процессом сдвижения горных пород - зона внимания маркшейдера. Помимо этого этот специалист занимается учетом движения и состоянием запасов полезного ископаемого, учетом его потерь и разубоживания (утраты свойств).

Основными задачами инженера маркшейдера являются: создание инженерных проектов и их реализация; безопасное выполнение горных работ в соответствии с проектными решениями; комплексное планирование горных работ; оперативный подсчет запасов, обеспечивающий их полноту извлечения из недр; охрана как подрабатываемых залежей полезного ископаемого, так и природных объектов.

Важными задачами, решаемыми маркшейдерской наукой, являются изучение пространственных форм месторождений, залегающих в недрах, и изображение их на специальных горно-геометрических графиках; определение оптимальных режимов добычи полезного ископаемого для получения конечного продукта с необходимым наперед заданным содержанием полезных и вредных компонентов. Эта область маркшейдерской науки («геометризация недр», или «горная геометрия») помогает успешно выполнять функции маркшейдерской службы по контролю соблюдения мероприятий по охране недр и полному извлечению полезного ископаемого.

В современных условиях роль маркшейдерской службы в вопросах недропользования существенно возросла. Это обусловлено рядом факторов, в том числе возникновением рыночных отношений и освоением новых месторождений в более сложных горно-геологических и климатических условиях.

В связи с упразднением горнодобывающих министерств и ведомств контроль за рациональным использованием ресурсов недр все больше перемещается на места, где эти обязанности выполняет маркшейдерская служба. Именно маркшейдер следит за движением запасов на предприятии, ведет учет добычи и потерь полезных ископаемых, составляет соответствующую отчетную документацию и направляет ее в государственные органы. На основании этой документации уточняется количество и качество различных видов полезных

ископаемых, имеющих в стране, и определяются объемы геологоразведочных работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы.

Из приведенного выше видно, какая большая ответственность лежит на плечах маркшейдера предприятия. Качественное и оперативное решение поставленных перед маркшейдерской службой сложных задач является гарантией безопасного ведения горных работ на горном предприятии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов, В.Н. Геодезия и маркшейдерия// В.Н. Попов, В.А. Букринский и др. –М.: ООО Техническая книга, 2017. – 453 с
2. Ржевский, В.В. Открытые горные работы: Технология и комплексная механизация: учебник // – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2018.
3. С.И. Стайков «Основные этапы развития маркшейдерской службы». Горный журнал No9/1 г. 2012, с.36-38.

ИЗУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗРАБАТЫВАЕМОСТИ МЕЛА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО И ТЕПЛОВОГО ПОЛЕЙ

Овчинников А.В.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, Белгород

Аннотация. *Выполнены экспериментальные исследования и установлены зависимости влияния теплового и вещественного полей на изменение следующих физических и механических характеристик мела: плотность, предел прочности при одноосном сжатии, предел прочности при одноосном растяжении, предел прочности при сдвиге, модуль упругости, коэффициент Пуассона, липкость. Рассчитаны геомеханические и энергетические критерии, характеризующие разрабатываемость мела: коэффициент крепости, показатель трудности разрушения породы, показатель трудности экскавации породы, показатели энергоемкости копания и разрушения породы.*

Ключевые слова: мел; тепловое поле; вещественное поле; разрабатываемость; энергоемкость разрушения горной породы.

STUDY OF CHALK DEVELOPMENT INDICATORS UNDER THE CONDITIONS OF EXPOSURE TO MATERIAL AND HEAT FIELDS

Ovchinnikov A.V.

Belgorod National Research University, Russia, Belgorod, ovchinnikov@bsu.edu.ru

Abstract. *Experimental studies were performed and the dependences of the influence of thermal and material fields on the change in the following physical and mechanical characteristics of the chalk were established: density, the ultimate compressive strength, ultimate tensile strength, ultimate shear strength, elastic modulus, Poisson's ratio, and stickiness. The geomechanical and energy criteria characterizing the chalk workability are calculated: the coefficient of hardness, the indicator of the difficulty of rock destruction, the indicator of the difficulty of rock excavation, the energy intensity of digging and rock destruction.*

Keywords: chalk; thermal field; material field; workability; the energy intensity of rock destruction.

Воздействие естественных температур на горные породы могут изменять их

прочностные характеристики, и в работах [1-3] делается предположение, что будет изменяться и энергия, затрачиваемая на разрушение породы. Температура окружающей среды влияет на процесс добычи пещного мела и на это обращают внимание ряд авторов [4-6]. Влажность природного мелового массива определяет энергоёмкость его разрушения и кусковатость разрушенного мела [5-7].

Таким образом, температура и влажность – существенные внешние факторы, влияющие на изменение физико-механических свойств горных пород, а, следовательно, факторы окружающей среды влияют на энергоёмкость разрушения горных пород, которая по мнению многих авторов [8-12] используется для оценки их разрабатываемости.

Целью данной работы явилось установление новых закономерностей изменения геомеханических критериев и показателей энергоёмкости разрушения мела под воздействием естественного теплового и вещественного полей.

С этой целью автором проведена оценка разрабатываемости мела на примере месторождения «Зелёная Поляна» г. Белгорода. Выполнен комплекс лабораторных исследований, который описан в работах [13-16].

Установлены корреляционные зависимости относительных изменений показателей трудности разрушения и экскавации, энергоёмкости разрушения от температуры, которые имеют вид [17] и представлены на рисунках 1, 2:

$$(\Delta\Pi_{\text{т.р.}})(\Delta\Pi_{\text{э}})(\Delta A_{\text{Т}}) = AT^2 - BT + C, \quad (1)$$

где $\Delta\Pi_{\text{т.р.}}$; $\Delta\Pi_{\text{э}}$; $\Delta A_{\text{Т}}$ – относительные изменения показателя трудности разрушения, показателя трудности экскавации, энергоёмкости разрушения по Тангаеву соответственно, %; T – температура, °C; A , B , C – коэффициенты для уравнений корреляции.

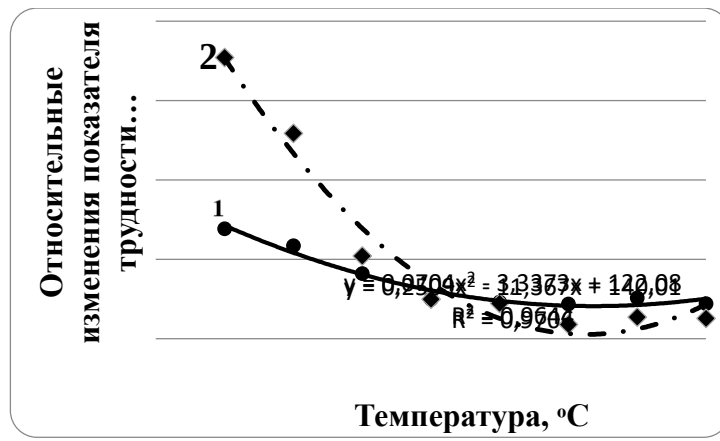


Рис. 1 – График зависимости относительных изменений показателя трудности экскавации (1) и энергоемкости разрушения (2) от температуры для образцов мела с естественной влажностью 15-17 %

Достоверность аппроксимации $R^2=0,97$; $0,96$; $0,97$ для образцов мела с естественной влажностью и $R^2=0,95$; $0,97$; $0,85$ для образцов мела с полным водонасыщением.

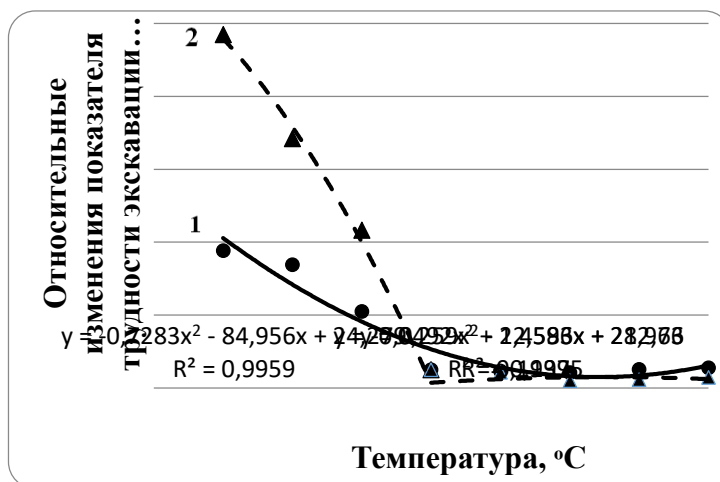


Рис. 2 – График зависимости относительных изменений показателя трудности экскавации (1) и энергоемкости разрушения (2) от температуры для образцов мела с полной влажностью

Установлена полиномиальная зависимость второго порядка относительных изменений показателя трудности разрушения и степенная зависимость относительных изменений энергоемкости разрушения по Тангаеву от влажности мела при температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, которые имеют вид соответственно [17]:

$$\Delta\P_{\text{т.р.}} = 0,0036W^2 + 0,531W + 93,838; \quad (2)$$

$$\Delta A_T = 49,783W^{-0,22}, \quad (3)$$

где $\Delta\Pi_{т.р}$; ΔA_T – относительные изменения показателя трудности разрушения, энергоемкости разрушения по Тангаеву соответственно, %; W – влажность, %. $R^2=0,91$; $0,76$.

Характер изменения относительных изменений показателя трудности экскавации образцов мела от влажности аппроксимируется кусочной функцией – степенной в диапазоне влажности от 0 до 2,1 % и полиномиальной второго порядка в диапазоне влажности от 2,1 до 38,5 %:

$$\Delta\Pi_э = 70,169W^{-0,221}, R^2=1; \quad (4)$$

$$\Delta\Pi_э = -0,0201W^2 + 0,9526W + 59,475, R^2=0 \quad (5)$$

где $\Delta\Pi_э$ – относительные изменения показателя трудности экскавации, %; W – влажность, %.

Зависимости относительных изменений показателя трудности экскавации и энергоемкости разрушения по Тангаеву от влажности при температуре +20 °С приведены на рис. 3.

Установленные закономерности изменения показателей разрабатываемости мела выявлены на примере одного месторождения г. Белгорода, мел которого отличается высоким содержанием карбоната кальция, низкими значениями глинисто-песчаной примеси (нерастворимого остатка), и обладает пониженными значениями механических свойств.

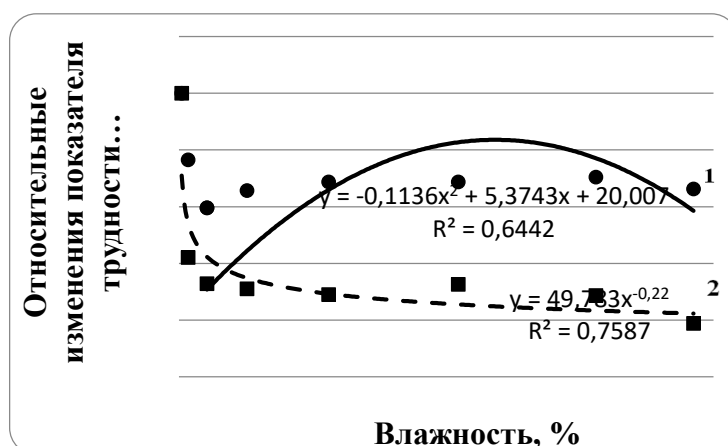


Рис. 3 – График зависимости относительных изменений показателя трудности экскавации (1) и энергоемкости разрушения (2) от влажности образцов мела при температуре +20 °С

Если рассматривать мел месторождений других регионов, то можно увидеть весьма широкий диапазон изменения их механических характеристик, поэтому стоит ожидать еще большее увеличение его энергоемкости разрушения под влиянием естественного теплового и вещественного полей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов Е.Г., Крымский В.И. Энергоемкость разрушения горных пород как объект управления горным производством // ФТПРПИ. 1984. № 4. С. 36 – 40.
2. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. Учебник для вузов. М.: Недра, 1984. 359 с.
3. Захаров Е.В., Курилко А.С., Попов В.И. Знакопеременные температурные воздействия как фактор энергосбережения для технологий комплексной подготовки рудного сырья в условиях криолитозоны // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 5. С. 84 – 91.
4. Гончаров С.А. Термодинамика. Учебник для вузов. М.: МГГУ, 2002. 440 с.
5. Вахтанова А.Н., Селезнев В.Н. Значение инженерно-геологических особенностей пород над рудной толщи при разработке их комплексами непрерывного действия (на примере КМА) // Инженерная геология. 1979. № 4. С.65 – 71.
6. Каппхан М. Добыча мела в зимних условиях // Строительные материалы. 2011. № 2. С. 25 – 29.
7. Сотников Л.Л. Исследование технологических процессов для формирования в карьере качественного мелового сырья: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 00.15.03 / Сотников Леонид Леонидович. М., 1996. 44 с.
8. Гончаров С.А. Методология построения классификации горных пород по их разрабатываемости // Горный журнал. 2012. № 4. С. 14 – 17.
9. Тангаев И.А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. М.: Недра, 1986. 231 с.
10. Фокин В.А., Гуменников В.П. О классификации горных пород по трудности их разрушения // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2013. № 2. С. 121 – 126.
11. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. М.: Недра, 1978. 541 с.
12. Воробьев В.Д., Крючков А.И., Ептеева Л.И. Аналитический метод определения производительности и энергоемкости процесса копания экскаватора типа мехлопата // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. 2009. Вып. 1/2009 (3). С. 26 – 34.
13. Ермолович Е.А., Овчинников А.В. Влияние температуры на физико-механические

характеристики мела // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 2. С. 52 – 61.

14. Ермолович Е.А., Овчинников А.А. Влияние теплового поля на характеристики прочности мела при естественной влажности // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. Вып. 4. С. 325 – 335.

15. Ермолович Е.А., Овчинников А.В. Влияние вещественного и теплового полей на липкость мела // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. Вып. 4. С. 335 – 344.

16. Ермолович Е.А., Овчинников А.В. Влияние теплового поля на упругие характеристики мела в состоянии максимального водонасыщения // Материалы 14-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». Тула, 2018. Том 2. С. 156 – 160.

17. Ермолович Е.А., Овчинников А.В. Исследование влияния теплового и вещественного полей на изменение физико-механических характеристик мела для оценки его разрабатываемости // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. Тула: ТулГУ, 2020. Вып. 2. С. 247-262.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГЕОХОДА

Садовец Р.В.

Москва, Госпитальный переулок 4-6, строение 2.

Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана

r.sadovec1296@yandex.ru, 105005

Аннотация. В статье представлен новый класс горнопроходческой техники – геоход. Определена минимальная производительность погрузочно-транспортной системы разрабатываемого геохода диаметром 0,6 м.

Ключевые слова: горные машины; геоход; погрузочно-транспортная система.

GEOKHOD'S MINIMUM PERFORMANCE DETERMINATION LOADING AND TRANSPORT SYSTEM

Sadovets R.V.

Moscow, Hospital lane 4-6, building 2.

Bauman Moscow State Technical University

r.sadovec1296@yandex.ru, 105005

Abstract. The article presents a new class of mining equipment - geokhod. The minimum performance of the loading and transport system of the developed geokhod with a diameter of 0.6 m is determined.

Keywords: mining machines; geokhod; loading and transport system.

В течении ряда лет коллективом авторов [1-9] ведутся работы по созданию геоходов (Рис.1), принципиально отличающихся устройств от традиционной горнопроходческой техники. Назначением геохода является проходка подземных выработок различного назначения и расположения в пространстве [10-17]. Технологию по образованию полости в подземном пространстве, в которой базовым элементом является геоход, принято называть геоходной [18-25].



Рис. 1 – Опытный образец геохода модели «401» диаметром 3,2 м

В настоящее время разрабатывается геоход диаметром 0,6 м. Одной из систем геохода, как и любой горнопроходческой техники, является погрузочно-транспортная (ПТС). При проектировании, либо выборе ПТС необходимо предварительно определить ее минимальную производительность.

Производительность – определяется количеством производимой ею продукции в единицу времени (час, смену, год) и выражается в единицах: весовых (т/ч), объемных (м³/ч), квадратных (м²/ч) или линейных (м/ч).

В случае ПТС производительность выражается в объемных единицах в час. Таким образом, необходимо определить объем разрушенного грунта геоходом за минуту.

За один оборот геохода, объем разрушенного грунта:

$$V_{об} = \frac{\pi D_g^2}{4} \cdot h_b \cdot K_p, \quad (1)$$

где D_g – диаметр геохода, м; h_b – шаг внешнего движителя геохода, м; K_p – коэффициент разрыхления грунта.

При диаметре геохода 0,6 м, шаг внешнего движителя составит 0,3 м, в связи с наименьшими энергетическими показателями [20]. Коэффициент разрыхления принят 1,25 в связи с проходной подземной выработки в суглинках.

Таким образом, за один оборот геохода объем разрушенного грунта составит:

$$V_{об} = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} \cdot 0,3 \cdot 1,25 = 0,10598 \text{ м}^3 = 105,98 \text{ л} \quad (2)$$

Частота вращения исполнительного органа геохода ($n_{ио}$) установленного в геоход диаметром 0,6 м составляет 1,8 об/мин. Угловая скорость в таком случае равна:

$$\omega_{ио} = \frac{2\pi n_{ио}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,8}{60} = 0,1884 \text{ с}^{-1}. \quad (3)$$

Частота вращения исполнительного органа больше вращения внешнего движителя в 3,67 раза (передаточное число цевочной передачи). Следовательно, угловая скорость головной секции геохода:

$$\omega_{\Gamma} = \frac{\omega_{дв}}{u_{ред}} = \frac{0,1884}{3,67} = 0,0513 \text{ с}^{-1}. \quad (4)$$

Частота вращения головной секции геохода:

$$n_{\Gamma} = \frac{60 \cdot \omega_{\Gamma}}{2\pi} = \frac{60 \cdot 0,0513}{2 \cdot 3,14} = 0,5 \frac{\text{об}}{\text{мин}}. \quad (5)$$

Линейная скорость движения геохода:

$$v_{\Gamma} = n_{\Gamma} \cdot h_{в} = 0,5 \cdot 0,3 = 0,15 \frac{\text{м}}{\text{мин}}. \quad (6)$$

Производительность геохода за минуту работы:

$$Q_{мин} = \frac{\pi D_{\Gamma}^2}{4} \cdot n_{\Gamma} \cdot h_{в} \cdot K_p = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} \cdot 0,5 \cdot 0,3 \cdot 1,25 = 0,053 \frac{\text{м}^3}{\text{мин}}. \quad (7)$$

Таким образом, ПТС, разрабатываемого геохода диаметром 0,6 м, должна обеспечивать минимальную производительность равную 0,053 м³/мин. Полученное значение должно учитываться при разработке, либо выборе ПТС геохода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геодинамика подземных аппаратов. Формула специальности, области исследований / В. В. Аксенов, С. В. Магазов, А. А. Хорешок [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 2(138). – С. 31-41. – DOI 10.26730/1999-4125-2020-2-31-41.

2. Аксенов, В. В. Разработка методики определения энергоемкости разрушения горной породы ножевым исполнительным органом геохода / В. В. Аксенов, В. Ю. Садовец, Д. А. Пашков // Горное оборудование и электромеханика. – 2019. – № 2(142). – С. 30-38. – DOI 10.26730/1816-4528-2019-2-30-38.

3. Создание проходческих подземных аппаратов, взаимодействующих с геосредой. Области исследований / В. В. Аксенов, В. Ю. Бегляков, А. В. Коперчук [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 2(148). – С. 3-12. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-2-3-12.

4. Центр испытаний проходческих подземных аппаратов, взаимодействующих с геосредой. Области исследований / В. В. Аксенов, С. В. Магазов, А. А. Хорешок [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 4(150). – С. 65-70. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-4-65-70.

5. Research areas of the scientific specialty "Geodynamics of underground machines" / V. V. Aksenov, S. V. Magazov, A. A. Khoreshok [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIET'2020, Veliky Novgorod, 25–26 июня 2020 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012007. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012007.

6. Areas of research on the construction of tunneling underground machines of the Geokhod class / V. V. Aksenov, A. A. Khoreshok, A. B. Efremenko [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIET'2020, Veliky Novgorod, 25–26 июня 2020 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012006. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012006.

7. Патент № 2703027 С1 Российская Федерация, МПК E21D 9/06. Способ строительства подземной выработки и щитовой проходческий агрегат для его осуществления : № 2018143978 : заявл. 11.12.2018 : опубл. 15.10.2019 / В. В. Аксенов, В. Ю. Бегляков, Д. А. Пашков ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Сибирское научно-производственное объединение" (ООО "Сибирское НПО").

8. Classifications of schematic solutions of the geokhod knife operating body and the interaction surface of the geokhod operating body with bottom rock / V. V. Aksenov, A. B. Efremenko, V. Yu. Sadovets [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIET'2020, Veliky Novgorod, 25–26 июня 2020 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012002. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012002.

9. Determining the interaction surface parameters of the geokhod knife operating body with the face rock / V. V. Aksenov, A. B. Efremenko, V. Yu. Sadovets [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIET'2020, Veliky Novgorod,

25–26 июня 2020 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012003. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012003.

10. Analysis of Compliance with the Requirements for Geohod Actuating device Circuit Design for Soft Rocks Destruction / V. Aksenov, V. Nesterov, V. Sadovets, D. Pashkov // E3S Web of Conferences : 5, Kemerovo, 19–21 октября 2020 года. – Kemerovo, 2020. – P. 03011. – DOI 10.1051/e3sconf/202017403011.

11. Development of a methodology for modeling complex shaped geokhod operating body in SolidWorks / V. V. Aksenov, A. B. Efremenko, V. Yu. Sadovets [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIET'2020, Veliky Novgorod, 25–26 июня 2020 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012005. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012005.

12. Influence of the knife shape on the operating body cutting force / V. V. Aksenov, A. B. Efremenko, V. Yu. Sadovets [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIET'2020, Veliky Novgorod, 25–26 июня 2020 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012004. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012004.

13. Влияние формы режущей кромки на силу резания ножевым исполнительным органом / В. В. Аксенов, В. Ю. Садовец, Д. А. Пашков, А. Ю. Захаров // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 1(147). – С. 30-36. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-1-30-36.

14. The Geokhod Bar Working Body with a Diameter of 1.8 m Characteristic Point Determination / V. V. Aksenov, V. Yu. Sadovets, E. V. Rezanova, D. A. Pashkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : X International Scientific and Practical Conference - Innovative Technologies in Engineering, Yurga, 23–25 мая 2019 года. – Yurga: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012020. – DOI 10.1088/1757-899X/582/1/012020.

15. Development of a mathematical model of the interaction of the knife actuator of geokhod with the semiconvex shape of the cutting edge of the knife with the mine faces rock / V. Aksenov, V. Sadovets, E. Preis, D. Pashkov // E3S Web of Conferences : The 10th Anniversary Russian-Chinese Symposium “Clean Coal Technologies: Mining, Processing, Safety, and Ecology”, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 01009.

16. Determination of the Overturning Torque of the Cutting Forces of the Knife Actuating Device of the Geokhod / V. Aksenov, V. Yu. Sadovets, V. Beglyakov [et al.] // E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 03020.

17. Investigation of the mathematical model of the knife of geokhod executive body interaction with the bottomhole rock / V. V. Aksenov, A. B. Efremenko, V. Yu. Sadovets, D. A. Pashkov // Journal of physics: conference series : 3rd International Scientific and Practical

Conference on Mathematical Modeling, Programming and Applied Mathematics (MMPAM 2021), Volume 2052, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing, 2021. – P. 012002. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012002.

18. Mathematical model for determining characteristic points on the radial knife of the geokhod executive body / A. B. Efremenko, V. V. Aksenov, V. Yu. Sadovets [et al.] // Journal of physics: conference series : 3rd International Scientific and Practical Conference on Mathematical Modeling, Programming and Applied Mathematics (MMPAM 2021), Volume 2052, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing, 2021. – P. 012011. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012011.

19. Геодинамика проходческих подземных аппаратов. Геосреда, форма и поверхности / В. В. Аксенов, А. А. Хорешок, В. Ю. Бегляков, Д. А. Пашков // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 3(155). – С. 39-47. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-3-39-47.

20. Khoreshok, A. A. Mathematical model for determining the forces of interaction of geokhod systems with geo-environment and with each other / A. A. Khoreshok, D. A. Pashkov, A. B. Efremenko // Journal of physics: conference series : 3rd International Scientific and Practical Conference on Mathematical Modeling, Programming and Applied Mathematics (MMPAM 2021), Volume 2052, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing, 2021. – P. 012019. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012019.

21. Геоход: задачи, характеристики, перспективы / В. В. Аксенов, В. Ю. Бегляков, М. Ю. Блащук [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 8(126). – С. 3-8.

22. Аксенов, В. в. Оценка необходимости создания крепевозводящего модуля геохода и его функциональных устройств / В. в. Аксенов, В. ю. Садовец // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S3. – С. 9-14.

23. Aksenov, V. V. The influence of relative distance between ledges on the stress-strain state of the rock at a face / V. V. Aksenov, A. B. Efremenko, V. Y. Beglyakov // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 379. – P. 16-19. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.379.16.

24. Садовец, В. Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнительных органов геоходов : специальность 05.05.06 "Горные машины" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Садовец Владимир Юрьевич. – Кемерово, 2007. – 19 с.

25. Аксенов, В. В. Влияние уступа на НДС призабойной части горной выработки / В. В. Аксенов, В. Ю. Садовец, В. Ю. Бегляков // Инновационные технологии и экономика в машиностроении : Сборник трудов II Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых, Юрга, 19–20 мая 2011 года. – Юрга: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2011. – С. 575-580.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАНКИ ПЗС-20 ИЗ СТАЛИ 14Г2 В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕМЕНТА ЗАМКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ АРОЧНЫХ КРЕПЕЙ

Скляр В.А., Смирнов Е.Н.

*Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (Губкинский филиал), 309186
Российская Федерация, Белгородская обл. г. Губкин, ул. Комсомольская, 16
konfor1@yandex.ru*

Аннотация. На основании проведенных комплексных исследований доказана возможность использования низколегированной марганцовистой стали для производства деталей арочной крепи из непрерывнолитого металла. Приведены результаты металлографического анализа и сравнительных механических испытаний планок, изготовленных по новой и обычной технологии.

Ключевые слова: шахтная крепь; замок арочной крепи; механические свойства; планка; сортовой прокат; 14Г2.

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF USING THE PZS-20 BAR MADE OF 14G2 STEEL AS AN ELEMENT OF THE LOCK CONNECTION OF ARCH SUPPORTS

Skliar V.A., Smyrnov Y.N.

Branch of FSAOU VPO "National Research Technology University "MISiS" in Gubkin Russia, Gubkin

Abstract. Based on the comprehensive studies, the possibility of using low-alloy manganese steel for the production of arch support parts from continuously cast metal has been proved. The results of metallographic analysis and comparative mechanical tests of slats made using new and conventional technology are presented.

Keywords: mining support; arch support lock; mechanical properties; bar; long products; 14G2.

Введение

Дальнейшее увеличение глубины горных выработок неизбежно сопровождается ухудшением горно-геологических условий. Возрастающие в связи с этим требования горняков к качеству поставляемого металлопроката, заставляют металлургов осуществлять поиск новых технологических процессов позволяющих улучшить комплекс свойств изделий, уменьшить вес конструкций, повысить их надежность при различных условиях эксплуатации

изделий, снизить расход дефицитных, дорогостоящих легирующих элементов и стоимость металлопродукции [1-3].

Постановка задачи

Следует особо подчеркнуть, что величина и стабильность рабочего сопротивления шахтной крепи наряду с формой сечения и материала специального профиля существенно зависит от конструкции замков. На шахтах Донбасса используются в основном замки трёх видов (рис. 1):

- замок, состоящий из двух хомутов, каждый из которых состоит из скобы, плоской планки и двух гаек (чертёж АПЗ.030);
- замок ЗСД – сблокированные скобы монтируют с общей фигурной планкой, изготавливаемой из специального профиля ПЗС 20 (чертёж АПЗ.070);
- замок ОЗШ – 1 – облегчённая фигурная планка изготавливается из специального профиля проката НППШ33, скобы укорочены (чертёж ОЗШ – 1.22.000).

При податливости крепи замки АПЗ.030 перекашиваются, недостаточно жёсткая планка изгибается, хомут вытягивается, и создаются условия для резкого сброса сопротивления крепи, разрыва скоб по резьбе и отрыва гаек. Следовательно, данный замок не только не обеспечивает заданное сопротивление крепи в податливом режиме, но даже не гарантирует целостности конструкции (примерно 15% замков разрушаются).

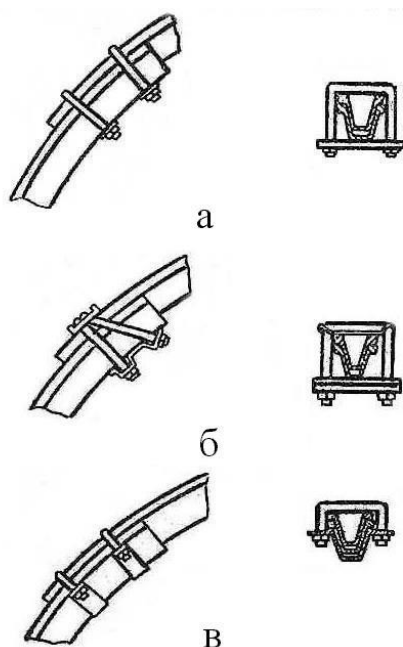


Рис. 1 – Типы замков для арочной крепи: а) Болтовое соединение (черт. АПЗ.030); б) Замок ЗСД (черт. АПЗ.070); в) Замок ОЗШ-1 (черт. ОЗШ1.22.000).

Замки ОЗШ-1 обеспечивают надёжную работу крепи в податливом режиме. Кроме

того, они обладают повышенной технологичностью при её изготовлении и монтаже.

Замки ЗСД характеризуются меньшей технологичностью при изготовлении и монтаже крепи. В тоже время они имеют большую универсальность, чем замки ОЗШ-1, так как для всех типоразмеров применяются планки из одного профиля проката ПЗС 20. Конструкция профиля такова, что за счёт наклона одной из сблокированных скоб устраняется перекося замка, а жёсткая фигурная планка практически не деформируется. В результате этого обеспечивается надёжная работа крепи при сопротивлении в среднем на 30 кН превышающем сопротивление крепи с замками АПЗ.030 [4].

В соответствии с техническими условиями профиль планки замковых соединений арочных крепей ПЗС-20 выпускают из стали 35ГС. Однако, в связи с необходимостью снижения себестоимости продукции, с разрешения института ДонУГИ изготовление выше названного профиля осуществляют также и из стали Ст5пс или Ст5сп.

Детальный анализ процесса замены стали 35ГС на другие марки, происходивший в течение последних десяти лет в производстве арматурной стали, показал, что наилучшие результаты были получены в случае использования стали с пониженным содержанием углерода при одновременном росте содержания марганца [5-6].

Методика проведения исследования

С учётом всего вышеизложенного, а также беря за основу опыт ОАО “ДМК им. Ф.Дзержинского”, производящего угловые профили с толщиной полки до 10 мм из непрерывнолитой заготовки, было предложено произвести опытную партию профиля ПЗС-20 из стали 14Г2 (ГОСТ 19281-89). Данная сталь характеризуется хорошим комплексом прочностных и пластичных свойств ($\sigma_B \geq 450 \text{ Н/мм}^2$, $\sigma_T \geq 325 \text{ Н/мм}^2$, $\delta_5 \geq 21\%$), что особенно важно для случая использования подвижной арочной крепи.

Оценку работоспособности планок, изготовленных из стали 14Г2, и типовых планок из стали Ст5пс производили в лаборатории ДонУГИ путём проверки их несущей способности на изгиб. Для большей корректности проведения сопоставительного анализа, было отобрано по 4 планки каждого способа производства, имеющих практически одинаковые значения твёрдости НВ и временного сопротивления σ_B (таблица 1). Испытание планки на изгиб производили сосредоточенной нагрузкой посередине пролёта 185 мм и продолжали до прогиба планки на 15мм. Нагрузку измеряли через каждые 3 мм прогиба (таблица 2) [7].

Результаты и их обсуждение

Представленные результаты испытаний показывают, что планки, изготовленные из стали 14Г2, выдерживают большую нагрузку при прогибах на одну и ту же величину. Особенно чётко превосходство опытных планок наблюдается при небольших величинах прогиба, лежащих в пределах 3-6 мм. В этом случае опытные планки имеют сопротивление на

изгиб на 25-30% выше, чем типовые.

Таблица 1 – Механические свойства опытных и типовых планок

Свойства	Номер планки			
	1	2	3	4
Опытная планка из стали 14Г2				
Твердость, НВ	146	155	149	150
σ_B , Н/мм ²	517	548	527	530
Типовая планка из стали Ст5пс				
Твердость, НВ	146	148	147	151
σ_B , Н/мм ²	517	523	520	535

Таблица 2 – Результаты испытаний на изгиб опытных и типовых планок

Номер планки	Нагрузка (кН) при прогибе, мм		
	3	9	15
Экспериментальные планки из стали 14Г2			
1	250	300	320
2	190	245	280
3	210	255	290
4	200	250	285
Среднее значение	212,5	262,5	293,8
Типовая планка из стали Ст5пс			
1	140	237	275
2	150	240	280
3	145	242	277
4	155	255	285
Среднее значение	147,5	243,5	279,3

Вывод

Проведены сравнительные испытания планки замкового соединения арочных крепей ПЗС-20 произведенной из непрерывнолитой стали 14Г2 и по обычной технологии. Повышенные на 25-30% прочностные свойства на изгиб опытных планок, по сравнению с типовыми планками, при небольших прогибах (3...6мм) позволяют улучшить комплекс

эксплуатационных характеристик арочной крепи, работающей в сложных горно-геологических условиях. Результаты проведенных испытаний позволили сделать вывод о том, что опытные планки из стали 14Г2 по своей прочности соответствуют всем техническим требованиям к параметрам работы крепи в податливом режиме и могут быть допущены к применению в замке АПЗ.070 для арочной крепи горных выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Залесский К.Е., Клейменов В.Б., Климов Ю.И. Результаты лабораторных испытаний экспериментальных образцов новых профилей проката шахтной крепи // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2012. №2. С. 215-220.
2. Термоупрочненный периодический прокат для анкерной крепи горных выработок / Г.В. Левченко, А.В. Кекух, В.А. Поляков и др. // Metallurgical and Mining Industry. 2003. № 5. С. 58 - 61.
3. Литвинский Г.Г. Горная крепь: эволюция развития и критерии технической эффективности // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. 2019. № 15 (58). С. 5-19.
4. Рамные крепи горных выработок / А.А.Сытник, Ф.С.Зигель, Ф.С.Компанец, В.С.Поляковский. – Донецк, 1992, 35 с.
5. Смирнов Е.Н., Скляр В.А., Белевитин В.А., Смирнов А.Н., Пивоваров Р.Е. Совершенствование деформационного режима прокатки сортовых профилей из конструкционных марок стали в условиях непрерывного стана // Производство проката. - 2018. - № 8. - С. 19-25.
6. Минаев А.А., Лубенец А.Н., Смирнов Е.Н. Высокоэффективные технологические схемы и интеграция -основа повышения качества проката ответственного назначения // Металл и литье Украины. 2002. № 7-8. С. 35.
7. К вопросу производства деталей замка арочной крепи из непрерывнолитого металла / Смирнов Е.Н. Лубенец А.Н., Лейрих И.В. и др. // Metallurgical and Mining Industry. - 2002. - № 10. - С. 81-85.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЕМНОЙ СПОСОБНОСТИ ОВРАЖНО-БАЛОЧНОЙ СЕТИ
СТАРООСКОЛЬСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО РЕГИОНА
ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Афанасьева Г.Е.

*Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (Губкинский филиал), 309186
Российская Федерация, Белгородская обл. г. Губкин, ул.Комсомольская, 16
e-mail: afanage@mail.ru*

***Аннотация.** В статье приведена методика и результаты исследования оценки приёмной способности отрицательных форм рельефа с целью размещения в них перспективных отходов горного производства, приведены полученные эмпирические зависимости.*

Ключевые слова: горное предприятие; рельеф; площади изъятия; емкость овражно-балочной сети; отходы горного производства.

**EXAMINATION OF RECEPTION CAPACITY OF RAVINE-BEAM NETWORK
OLD SKOL IRON ORE REGION FOR DISPOSAL OF MINING WASTES**

Afanasyeva G.E.

*Branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University
"MISIS" in Gubkin, Belgorod region, Russia, Gubkin
e-mail: afanage@mail.ru*

***Abstract.** The article presents the methodology and results of the study of assessing the acceptance capacity of negative landforms in order to place promising mining waste in them, gives the obtained empirical dependencies.*

Keywords: mining enterprise; relief; the area of the exemption; capacity of the ravine-beam network; mining waste.

В связи с расширением проектных и перспективных контуров карьеров Старооскольского железорудного региона, обусловленных доразведкой месторождений и приростом их запасов, а также вовлечением в эксплуатацию руд с пониженными кондициями, значительно возрастают общие объемы выемки, перемещения вскрышных пород в отвалы и объемы отходов обогатительных фабрик. Наряду с этим при заполнении отведенных

территорий отвалами вскрышных пород и хвостохранилищами возникает необходимость в выборе новых мест для размещения отходов горного производства. В настоящее время вблизи карьеров отвалами и хвостохранилищами заняты практически все неудобные земли.

Для дальнейшего проектирования и рационального размещения отходов горного производства при перспективном развитии карьеров в настоящей работе рассмотрена оценка приемной способности отрицательных форм рельефа Старооскольского железорудного района, который характеризуется двумя основными геоморфологическими типами рельефа: водоразделами и широко развитой пойменной и овражно-балочной сетью.

Оценка приемной способности территории, прилегающей к Лебединскому и Стойленскому карьерам, проведена в радиусе 45 км. При этом за исходную точку был принят центр тяжести по балансовым запасам полезных ископаемых указанных карьеров.

При определении емкостей балок, оврагов, логов, яров максимальная абсолютная отметка заполнения определялась в каждом конкретном случае с учетом минимального построения гидротехнических сооружений (без замкнутого обвалования), минимального сноса населенных пунктов, автодорог, железных дорог, линий электропередач, с учетом заполнения наиболее крутых участков склонов (угол 10-15 градусов) и не заполнения пойм рек. На всей оцениваемой территории она колеблется от 180 м до 220 м.

В результате проведенной работы установлено, что приемная способность отрицательных форм рельефа характеризуется линейной зависимостью от радиуса до центра тяжести между карьерами Лебединского и Стойленского ГОКов и имеет вид:

$$V = (R - R_0) / A, \text{ м}^3; \quad (1)$$

где: V - емкость отрицательных форм рельефа, м^3 ;

R - радиус до центра тяжести карьеров ЛГОКа и СГОКа, м;

R_0 - радиус, в пределах которого размещение объемов отходов невозможно, м;

A – эмпирический коэффициент, $1/\text{м}^2$. Установлено, что для данной территории он составляет: $A = 3,11 \cdot 10^{-6}, 1/\text{м}^2$.

R_0 – определяется из выражения:

$$R_0 = (S_0 / \pi), \text{ м}^2; \quad (2)$$

где S_0 – площадь, занятая карьерами Лебединского и Стойленского ГОКов и их промышленными объектами, м^2 ;

$$S_o = S_k + S_{п.о.}, \text{ м}^2; \quad (3)$$

где S_k – площадь, занятая карьерами с учетом перспективных границ, м^2 ;

$S_{п.о.}$ – площадь, занятая промышленными объектами, м^2 .

На исследуемой территории $S_o = 4285$ га, причем 70% этой площади приходится на карьеры с учетом их перспективного развития, а 30% - на промышленные и линейные объекты. Трансформируя эту площадь в площадь круга, определим радиус R_o , в пределах которого размещение отходов горного производства невозможно. Для Стойленского и Лебединского ГОКов $R_o = 3700$ м.

С учетом вышеизложенного зависимость (1) для исследуемой территории примет вид:

$$V = (R - 3700) / (3,11 * 10^{-6}), \text{ м}^3 \quad (4)$$

В процессе исследований установлена зависимость рациональных площадей изъятия (S) от радиуса (R), т.е. $S = f(R)$, которая удовлетворительно описывается выражением:

$$S = L (R - \sum R_k), \text{ м}^2; \quad (5)$$

где S – площадь балок, логов, оврагов, подлежащих изъятию в данном радиусе, м^2 ;

L - их средняя протяженность, м;

$\sum R_k$ - сумма максимальных радиусов карьеров данного района, м.

Для Старооскольского железорудного региона $L = 15033$ м, сумма радиусов карьеров ЛГОКа и СГОКА составляет 4430 м.

Тогда выражение (5) примет вид:

$$S = 15033 (R - 4430), \text{ м}^2 \quad (6)$$

Взаимосвязь емкости отрицательных форм рельефа и изымаемых при этом площадей $V = f(S)$ определена следующей зависимостью:

$$V = (S + \Delta S) / B, \text{ м}^3; \quad (7)$$

где: ΔS – дополнительная площадь отрицательных форм рельефа, находящихся в одном радиусе с карьерами, пригодная для размещения отходов горного производства, м^2 ;

B – коэффициент, зависящий от глубины заполнения емкостей, $1/\text{м}$.

Для исследуемой территории $\Delta S = 10696000 \text{ м}^2$, $B = 0,05 \text{ л/м}$ при средневзвешенной глубине заполнения овражно-балочной сети 35 м.

Таким образом, вместимость отрицательных форм рельефа исследуемой территории в зависимости от изымаемых при этом площадей описывается следующим выражением:

$$V = (S + 10696000) / 0,05, \text{ м}^3 \quad (8)$$

Полученные зависимости могут использоваться при проектировании дополнительных мест размещения отходов горных предприятий Старооскольского железорудного региона при дальнейшей реконструкции существующих и введении в действие новых проектируемых горных предприятий.

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ

Сергеев С.В.¹, Зинченко А.В.¹, Воробьев Е.Д.²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых защите инженерных сооружений от обводнения, специальным горным работам, геомеханике, геофизике, гидротехнике, геологии и маркшейдерскому делу. РФ, г. Белгород, E-mail: sergey.sergeev.v@mail.ru

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

РФ, г. Белгород, E-mail: vorobev@bsu.edu.ru

Аннотация. Объект исследования – крепь вертикального ствола шахты. В процессе работы проведено обследование тюбинговой и бетонной крепи. Проведен анализ напряженно-деформированного состояния крепи по измеренным напряжениям в тюбингах. Определены величины давлений на крепь в наиболее характерных интервалах по глубине. Дан прогноз ее конструктивной безопасности. Установлено, что крепь обладает необходимым уровнем эксплуатационной надежности. В статье приведены результаты натурных наблюдений за железобетонным сооружением на глубине 1 км, где были установлена замерная станция с арматурными преобразователями силы. Приведены результаты измерений напряжений в арматурных стержнях, установленных в стенках выработки, начиная с момента бетонирования крепи. Предложена методика оценки напряжённого состояния бетона по измеренным усилиям в арматурных стержнях. При этом учитывались усадочные деформации и ползучесть бетона. Методика апробирована и может быть использована для оценки напряжений в бетоне для других аналогичных конструкций подземных сооружений.

Ключевые слова: подземное сооружение; бетон; арматура; напряжение; деформация.

DETERMINATION OF THE STRESS STATE OF AN UNDERGROUND STRUCTURE

Sergeyev S.V.¹, Zinchenko A.V.¹, Vorobyev E.D.²

¹ All-Russian Research Institute for the Drainage of Mineral Deposits, protection of engineering structures from flooding, special mining, Geomechanics, Geophysics, hydraulic engineering, geology and surveying. Russian Federation, Belgorod, E-mail: sergey.sergeev.v@mail.ru

² Belgorod State National Research University.

Russian Federation, Belgorod, E-mail: vorobev@bsu.edu.ru

Abstract. The object of research is the support of the vertical shaft of the mine. In the course of work, a survey of tubing and concrete supports was carried out. An analysis of the stress-strain

state of the support is performed based on the measured stresses in the tubing. The values of pressure on the support in the most characteristic depth intervals are determined. The forecast of its constructive safety is given. It is established that the support has the necessary level of operational reliability. The article presents the results of field observations of a reinforced concrete structure at a depth of 1 km, where a measuring station with reinforcement force converters was installed. The article presents the results of field observations of a reinforced concrete structure at a depth of 1 km, where a measuring station with reinforcement force converters was installed. The results of stress measurements in reinforcing bars installed in the walls of the workings, starting from the moment of concreting the support, are presented. A method for estimating the stress state of concrete from the measured forces in rebar rods is proposed. Shrinkage deformations and creep of concrete were taken into account. The method has been tested and can be used to assess stresses in concrete for other similar structures of underground structures.

Keywords: underground construction; concrete; reinforcement; stress; deformation.

Для обеспечения безопасности труда, защиты окружающей среды, а также сохранности машин, механизмов и оборудования подземные сооружения на всех стадиях жизненного цикла должны отвечать требованиям высокого уровня надежности.

Опыт эксплуатации крепей вертикальных стволов шахт показывает, что напряжения и деформации в обделках продолжают изменяться в течение продолжительного времени после окончания строительства. Текущая оценка безопасного состояния крепей выполняется, как правило, по величинам действующих в обделках напряжений. Особую актуальность этот вопрос приобретает при предельных нагрузках.

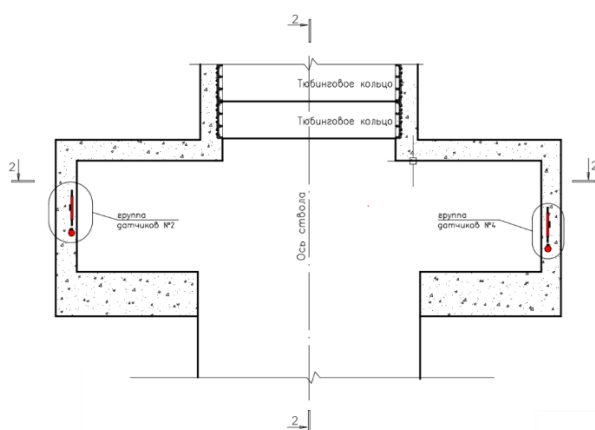


Рис. 1 – Вертикальный разрез технологической ниши

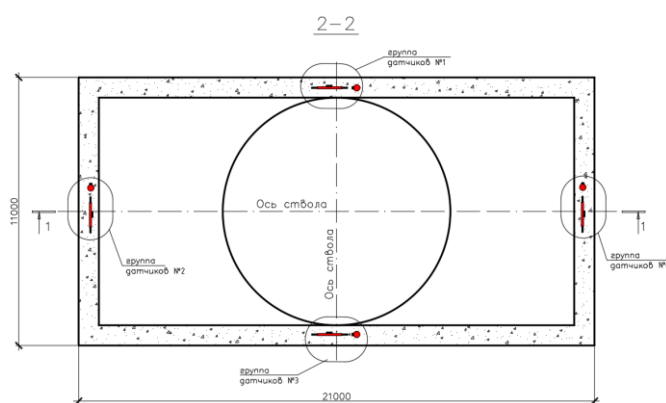


Рис. 2 – Поперечное сечение технологической ниши

Начиная с 80-х годов предложена и апробирована методика натурных наблюдений за

напряжённо-деформированным состоянием крепи стволов, в том числе в местах сопряжений [1-3]. В 2016 году была разработана методика и проводятся наблюдения за состоянием железобетонной конструкции на глубинах, превышающих 1000 м [4].

Рассматриваемая технологическая ниша имеет следующие геометрические размеры: длина – 21 м, ширина – 11 м, высота – 7 м. Проектный класс бетона по прочности на сжатие – В35. Два ряда арматурных сеток выполнены из стальной арматуры класса А400. В вертикальном направлении арматурные стержни $\varnothing 16$ мм, а в горизонтальном $\varnothing 12$ мм.

В крепи установлены преобразователи силы арматурные ПСАС (№ 43006 Государственный реестр средств измерений РФ), которые вваривались в арматуру (рис. 1, 2). Датчики ПСАС предназначены для измерения сжимающих и растягивающих усилий в рабочей арматуре железобетонных конструкций сооружений при контрольных наблюдениях и натурных исследованиях. Всего было установлено 8 датчиков четырьмя группами в вертикальном и горизонтальном направлениях (рис. 3).

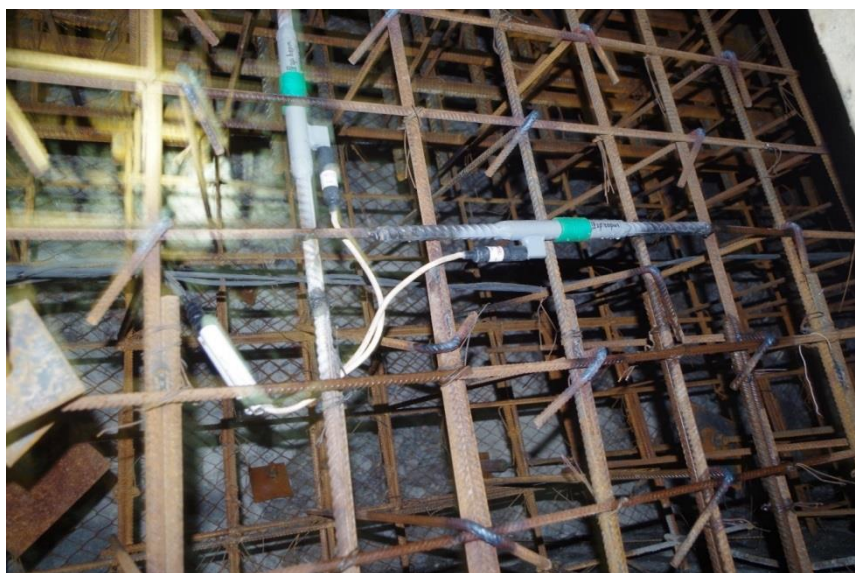


Рис. 3 – Расположение датчиков ПСАС в арматуре

Для определения величин напряжений в массиве горных пород применяется метод полной разгрузки по схеме ВНИМИ (измерение деформации торца керна, обуренного кольцевой щелью). Метод основан на использовании характеристик упругого восстановления формы элемента исследуемого массива при искусственном нарушении его связи с основным массивом. Породный массив рассматривается как упругий, сплошной, изотропный. Этот метод применялся нами для определения напряжений в бетонной крепи горных выработок.

В железобетоне бетон и арматура работают совместно, благодаря их сцеплению. Поэтому, деформации арматуры и бетона до момента трещинообразования равны ($\varepsilon_s = \varepsilon_b$).

Определение напряжений в бетоне до момента трещинообразования (σ_b) производится по формуле, следующей из закона Гука:

$$\sigma_b = E_b \varepsilon_b \quad (1)$$

где: E_b - модуль упругости бетона, МПа; ε_b - относительные деформации.

Как показывают натурные наблюдения, при твердении бетона в первые сутки происходит преднапряжение арматуры от усадочных деформаций, не связанных с давлением на крепь.

В бетоне при длительном нагружении появляются деформации ползучести. Они при определении напряжений в бетоне учитываются через модуль упругости бетона с использованием коэффициента ползучести. При этом модуль упругости бетона определяют по формуле:

$$E_{b,\tau} = \frac{E_b}{1 + \varphi_{b,cr}} \quad (2)$$

где $\varphi_{b,cr}$ коэффициент ползучести бетона.

Значения коэффициента ползучести бетона $\varphi_{b,cr}$ принимают в зависимости от условий окружающей среды (относительной влажности воздуха) и класса бетона. Для класса бетона В35 и влажности воздуха выше 75%, коэффициент равняется – 1,5. Тогда, модуль деформации, с учетом этого коэффициента $E_{b,\tau} = \frac{34500}{1 + 1,5} = 13800$ МПа .

Определим напряжения в бетоне с учетом коэффициента ползучести:

а) горизонтальные в бетоне, в среднем: $\sigma_{b,\tau}^{\Gamma} = E_{b,\tau} \cdot \varepsilon_{\Gamma} = 13800 \cdot 0,00055 = 7,6$ МПа .

б) вертикальные в бетоне, в среднем: $\sigma_{b,\tau}^B = E_{b,\tau} \cdot \varepsilon_B = 13800 \cdot 0,00132 = 18,2$ МПа .

Полученные величины близки к предельным предельно допустимому значению для бетона класса В35, которое составляет $R_b = 19,5$ МПа.

Для определения напряжений в бетоне железобетонной крепи на первом этапе определялось расположение арматуры в крепи с помощью мультidetектора Hilti PS50. На втором этапе алмазной коронкой на 6-ти участках крепи зачищен поверхностный слой бетона на глубину 0,5-1 см и отполирован шлифовальной бумагой. Далее к подготовленной и обезжиренной поверхности тензорезистор закреплялся цианокрилатным клеем. На рис. 4. приведено фото участка крепи, на котором выполнена разгрузка. Выбуривание кернa производилось на глубину диаметра коронки. После этого проводились измерения

деформации упругого восстановления.

Прочность бетона на сжатие определялась механическим методом неразрушающего контроля (ГОСТ 22690) в 7-ти точках по периметру крепи. Класс бетона в местах измерений, в среднем, соответствует классу В30. По установленному классу бетона на сжатие определён его модуль упругости и вычислены величины напряжений. При расчёте напряжений в крепи значение начального модуля упругости бетона при сжатии принималось как для бетона класса В30.

В результате выполненной разгрузки получены величины вертикальных сжимающих напряжений от 11,0 МПа до 15,6 МПа.

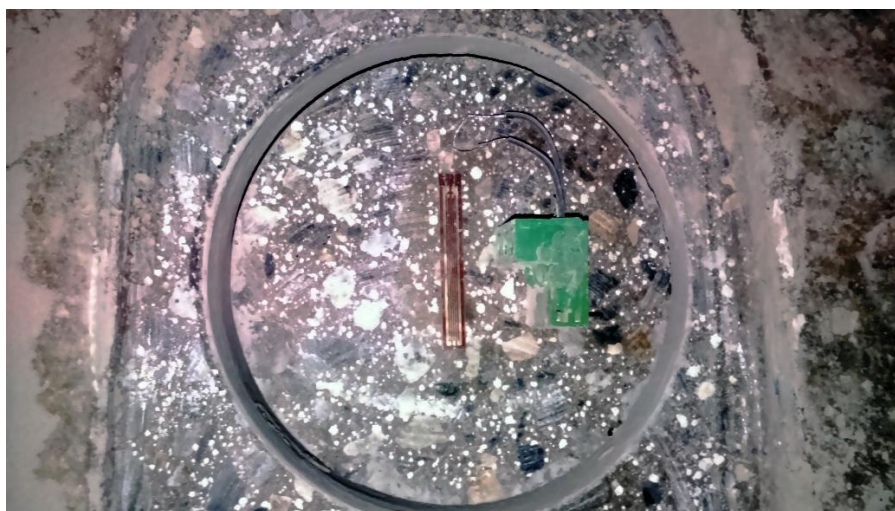


Рис. 4 – Расположение тензорезистора на участке разгрузки

Полученные величины напряжений в бетоне крепи при разгрузке меньше, чем вычисленные по усилиям в арматуре ($<18,2$ МПа). Это объясняется наличием трещин на поверхности крепи. Появление трещин и измеряемые напряжения в арматуре крепи свидетельствует о высокой степени напряженности крепи в вертикальном направлении.

Выводы:

1. Натурные наблюдения показывают, что оценку напряжений в бетоне крепи по измеренным усилиям в арматурных стержнях необходимо производить с учётом преднапряжения от усадки бетона, трещинообразования и ползучести. В рассматриваемом нами примере с учётом только преднапряжения от усадки бетона напряжения в крепи достигли 45,5 МПа, что превышает расчетный предел прочности бетона В35. Учёт ползучести снижает напряжения в бетоне до 18,2 МПа.

2. Предложенная методика позволяет производить комплексную оценку напряженного состояния железобетонных конструкций крепи подземных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казикаев Д.М., Борисов О.П., Сергеев С.В. Наблюдения за состоянием крепи и массива пород в стволе № 2 Яковлевского рудника // Шахтное строительство. 1980. № 12. С. 13.
2. Сергеев С.В. Передача напряжений в комбинированной крепи стволов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 5. С. 220-223.
3. Сергеев С.В., Казикаев Д.М., Климентов М.Н. Влияние инженерно-геологических условий на интенсивность нагружения крепи стволов в замороженных породах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 2. С. 115-118.
4. Казикаев Д.М., Сергеев С.В. Диагностика и мониторинг напряженного состояния крепи вертикальных стволов. М.: Издательство «Горная книга», 2011. 244 с.
5. Сергеев С.В., Воробьев Е.Д. Информационно-измерительная система мониторинга напряженно- деформированного состояния несущих строительных конструкций и элементов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2017. № 25 (274). С. 116-122.

ПРИНЦИПЫ ПОИСКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОПТИМУМОВ ДЛЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Афанасьева Г.Е., Балычев А.Е.

Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (Губкинский филиал), 309186

Российская Федерация, Белгородская обл. г. Губкин, ул. Комсомольская, 16

e-mail: afanage@mail.ru

Аннотация. В статье предложен принцип определения эколого-экономических оптимумов для горных предприятий, основанный на сопоставлении затрат на природоохранные мероприятия с экономическим результатом, достигнутым благодаря этим мероприятиям.

Ключевые слова: природоохранные мероприятия; затраты; загрязняющие вещества; экологический ущерб; окружающая среда; экономический эффект.

PRINCIPLES OF FINDING ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL OPTIMISM FOR MOUNTAIN ENTERPRISES

Afanasyeva G.E., Balychev A.E.

Branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University

"MISIS" in Gubkin, Belgorod region, Russia, Gubkin

e-mail: afanage@mail.ru

Abstract. The article proposes the principle of determining environmental and economic optimums for mountain enterprises, based on comparing the costs of environmental measures with the economic result achieved through these measures.

Keywords: environmental measures; costs; pollutants; environmental damage; environment; economic effect.

Воздействие жизнедеятельности человечества на природу с каждым годом возрастает и становится соизмеримым с действием природных факторов. Часть вредных веществ включается в кругооборот, а большая часть накапливается в биосфере. Накопление промышленных отходов приводит к ухудшению свойств экологической системы, а в некоторых случаях и к гибели, исчезновению отдельных видов животных и растений. Состояние качества окружающей среды существенно влияет на принятие адекватных мер по

сохранению и спасению окружающей среды.

В условиях экстенсивного пути развития экономики её рост сопровождался всё возрастающими объёмами добычи природных ресурсов и выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. Перелом этой тенденции начался с внедрения достижений науки и техники в области ресурсосбережения и снижения материалоёмкости. Это выгодно экономически и экологически, так как уменьшаются затраты на выпуск конечной продукции и снижается нагрузка на окружающую природную среду. Научно-технический прогресс выступает в качестве средства разрешения противоречий между всё возрастающими потребностями общества и ограниченными возможностями природы.

Агентство охраны окружающей среды подсчитало, что удаление из всех промышленных и муниципальных стоков 85% загрязнителей обходится в 62 млрд. долларов, полная же очистка стоит, по меньшей мере, 317 млрд. долларов. Стоимость удаления оставшихся 15% в пять раз превышает стоимость удаления первых 85% [1]. При этом стоимость очистки при усиливающемся загрязнении окружающей среды растёт экспоненциально и соответствует J-образной кривой (рис.1).

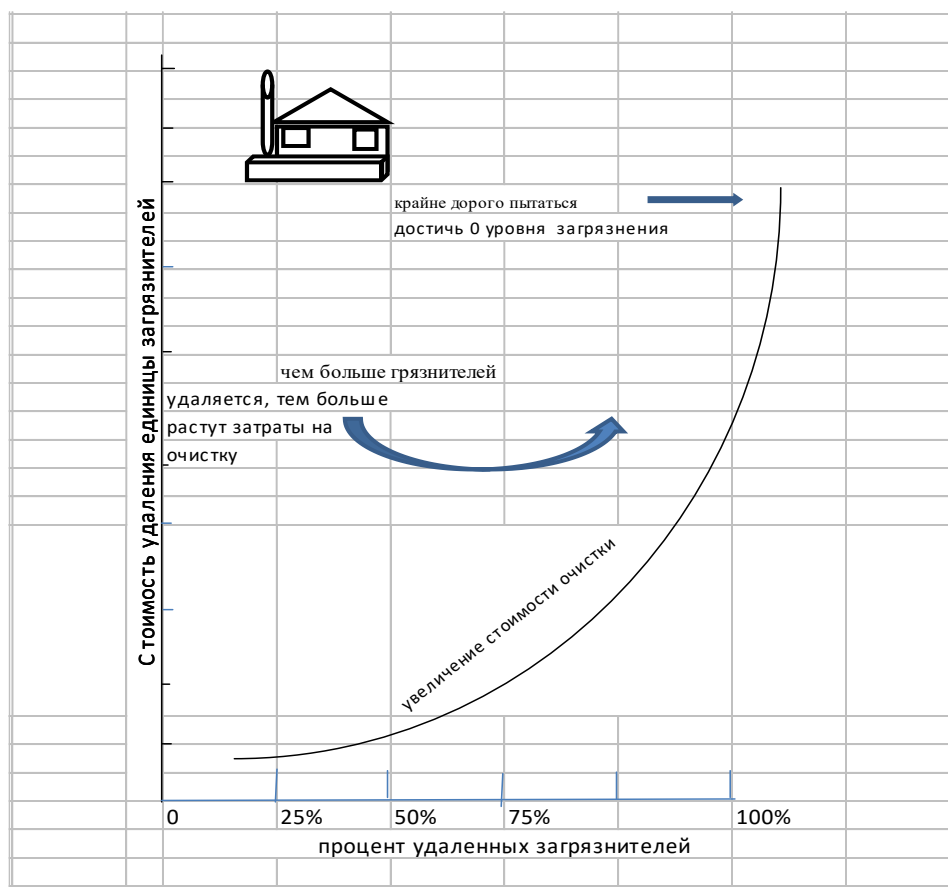


Рис. 1 – Зависимость стоимости очистки от удаленных загрязнителей

Если мы зайдем слишком далеко в проведении очистных работ, то борьба с

загрязнением окажется дороже вредных воздействий. Это может привести к банкротству некоторых предприятий. Однако если мы сделаем слишком мало, вредные последствия загрязнения обойдутся нам дороже, чем борьба с ними. Поэтому решающим моментом в этом вопросе является определение оптимального уровня загрязнения. Для его определения вычерчиваем на схеме кривую расчетной социальной стоимости работ по ликвидации последствий загрязнения и кривую расчетной социальной стоимости загрязнения. Затем на основании этих двух кривых получаем третью кривую, отражающую общие расходы. Нижняя точка этой третьей кривой является оптимальным уровнем загрязнений (рис.2).

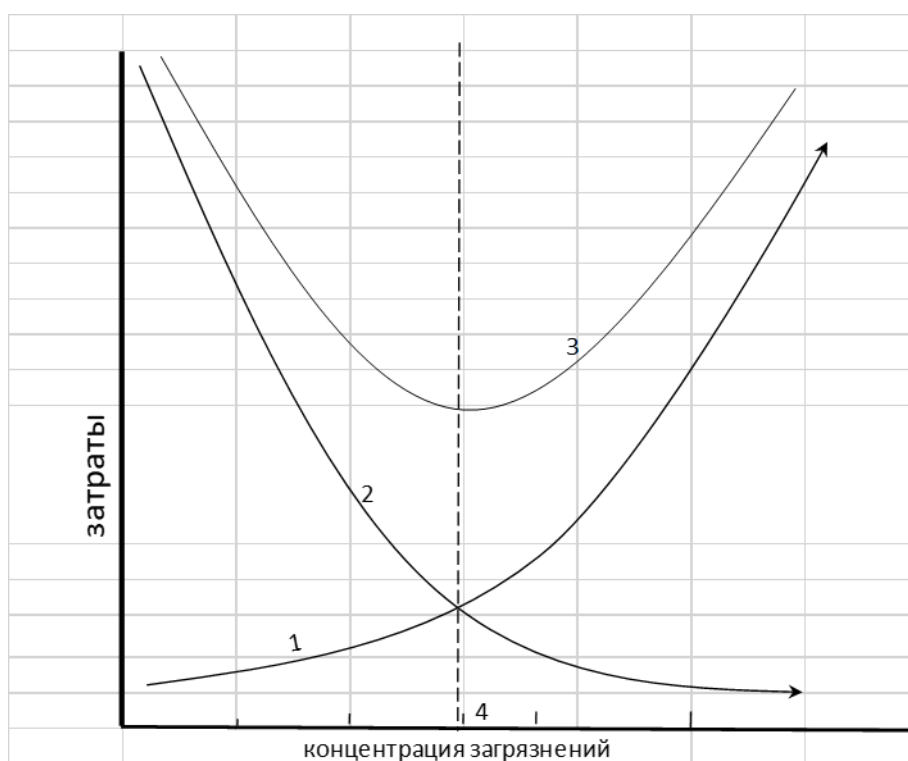


Рис. 2 – Соотношение экологического и экономического оптимумов
вложения средств в природоохранную деятельность

- 1 – кривая расходов на ликвидацию ущерба от загрязнений;
2 – кривая затрат на природоохранную деятельность, т. е. на предотвращение ущерба от загрязнений; 3 – суммарные затраты; 4 – наименьшие суммарные затраты.

Экономический эффект природоохранного мероприятия выражается величиной годового экономического ущерба от загрязнений среды, предотвращаемого благодаря этим мероприятиям, или суммой предотвращаемых ущербов и годового прироста дохода от улучшения производственных результатов вследствие проведения природоохранных мероприятий.

Предотвращаемый экономический ущерб от загрязнения среды равен разности между

величиной ущерба, который имел место до осуществления реализованного мероприятия, и остаточного ущерба после проведения этого мероприятия.

В каждый момент времени общество несет затраты, складывающиеся из средств, затраченных на предотвращение загрязнения (и вызываемого им ущерба) и ликвидацию последствий от этих загрязнений, которые не удалось избежать. Чем больше средств вкладывается в природоохранную деятельность (рис. 2, кривая 2), тем меньше их понадобится для ликвидации ущерба от загрязнения окружающей среды (рис. 2, кривая 1), и наоборот. При этом общая сумма затрат будет меньшей при таком уровне загрязнения окружающей среды (точка 4), при котором первые затраты равны вторым.

Природоохранная деятельность требует очень больших средств. Например, стоимость природоохранного оборудования может составлять 30% и более от стоимости всего оборудования на предприятии. Однако затраты на охрану природы обязательны [2].

На рисунке 2 видно, когда эффективность природоохранных мероприятий максимальна. Эта точка 4, так называемый экономический оптимум. В этой точке сумма ущербов равна расходам на природоохранную деятельность. Для поддержания экономического оптимума уровень природоохранных затрат должен составлять около 8-10% от валового национального продукта. В нашей стране суммы ущерба составляют приблизительно 8-9%, расходы на охрану природы - только 1% [2]. Если положение вещей не изменится, то результатом будет экологическая катастрофа.

Еще больше средств нужно для достижения экологического оптимума (точка ПДК). При этом затраты на природоохранную деятельность должны быть такими, чтобы ущерба не возникало вообще, что весьма затруднительно.

Таким образом, расчет экономического эффекта природоохранных мероприятий основывается на сопоставлении затрат на их осуществление с экономическим результатом, достигнутым благодаря этим мероприятиям. Этот результат выражается величиной ликвидированного или предотвращенного экономического ущерба от загрязнения или потерь ресурса. Разность между результатом и затратами характеризует экономический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миллер Т. Жизнь в окружающей среде. Ч. III: Пер англ. / Под ред. Ягодина Г.А. – М.: Международное издательство «Галактика», 1996. – 400 с.
2. Андреева Т.А. Экология в вопросах и ответах: учеб. пособие. - ТК Велби, Изд-во Проспект, 2006. – 184 с.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Афанасьева Г.Е.

*Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (Губкинский филиал), 309186
Российская Федерация, Белгородская обл. г. Губкин, ул.Комсомольская,16
e-mail: afanage@mail.ru*

Аннотация. В статье на примере горнорудного предприятия ОАО «Комбинат КМАруда» проведен анализ эффективности природоохранной деятельности, основанный на предотвращенном ущербе от загрязнения и нарушения окружающей среды.

Ключевые слова: горное предприятие; природоохранные мероприятия; затраты; выбросы загрязняющих веществ; ресурсопотребление; окружающая среда.

ENVIRONMENTAL PERFORMANCE ANALYSIS OF MINING ENTERPRISE

Afanasyeva G.E.

*Branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University
"MISIS" in Gubkin, Belgorod region, Russia, Gubkin
e-mail: afanage@mail.ru*

Abstract. In the article, on the example of the mining enterprise of OJSC "KMAruda Combine," an analysis of the effectiveness of environmental activities was carried out, based on the prevented damage from pollution and environmental disturbance.

Keywords: mining enterprise; environmental measures; costs; emissions of pollutants; resource consumption; environment.

В условиях рыночных отношений главным принципом развития и совершенствования горного производства является рост производства конечной продукции и снижение загрязнения окружающей среды, а также уменьшение объёмов потребляемых природных ресурсов при производстве продукции. Большим резервом уменьшения нагрузки на окружающую среду является комплексная переработка и утилизация всех компонентов добываемого сырья, сокращение потерь природных ресурсов, повышение степени извлекаемости полезных ископаемых из недр, совершенствование структуры потребления готового продукта. Однако новые способы производства требуют значительных затрат на их

разработку и применение.

Критерием экономической целесообразности внедрения достижений научно-технического прогресса является сопоставление затрат на проведение природоохранных мероприятий с приростом объёмов производства и снижения ущерба окружающей природной среде. Практическое определение ущербов и эффективности природоохранных мероприятий – очень сложная задача, решить которую можно, проанализировав и оценив возможные пути улучшения качества окружающей среды и ресурсосбережения.

Каждое современное горное производство сопровождается истощением природных ресурсов, нарушением и загрязнением окружающей среды. Должно ли нашей целью стать полное отсутствие загрязнения? Для большинства загрязняющих веществ ответ отрицательный.

Во-первых, потому, что в процессе любой деятельности вырабатываются какие-то потенциальные загрязнители, а природа сама в состоянии справиться с некоторыми отходами. Задача состоит в том, чтобы не нарушить способность Земли к самовосстановлению.

Во-вторых, мы не можем позволить себе иметь нулевое загрязнение по любому загрязнителю. Это возможно только для наиболее опасных веществ. Ликвидация последствий незначительного загрязнения воздуха, воды или почвы стоит не дорого, а если речь идет о серьезном загрязнении, стоимость очистных работ многократно увеличивается и растет экспоненциально.

Данные утверждения можно проследить на примере горнорудного предприятия ОАО «Комбинат КМАруда». Основные показатели по воздействию данного предприятия на окружающую природную среду за период 2011 – 2016 г. г. приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные показатели воздействия на состояние окружающей среды

Показатели	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Выбросы загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха (тонн)	98,07071	98,08122	98,09358	98,11458	98,15358	77,892935
Темп роста к предыдущему году (%)		+0,01	+0,01	+0,02	+0,04	-20,64

Улавливание загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха (тонн)	65,80500	65,91031	65,910031	66,41431	66,42131	136,56198
Темп роста к предыдущему году (%)		+0,16	0	+0,77	+0,01	+105,6
Использование свежей воды (млн.м ³)	34,1967	31,9808	31,6127	34,8076	35,8534	34,7507
Темп роста к предыдущему году (%)		-6,48	-1,15	+10,11	+3,01	-3,08
Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. (млн. руб.)	0,403	0,69384	0,701	0,99096	2,08373	31,25613
Темп роста к предыдущему году (%)		+ 72,17	+1,02	+41,36	+110,27	+1400,01
Ресурсопотребление на 1 рубль произведенной продукции (кг/руб.)		4,79	3,97	2,14	1,43	1,58
Темп роста к предыдущему году (%)			-17,12	-46,10	-33,18	+10,49

Анализ таблицы 1 показал, что за рассматриваемый период выбросы загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха, уменьшились на 20%; улавливание загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха, возросло в 2 раза; ресурсопотребление на 1 рубль произведенной продукции снизилось на 33%; а инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных

ресурсов, увеличились в 173 раза.

Затраты на выполнение природоохранных мероприятий за период 2010 – 2015 г. г. представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Выполнение природоохранных мероприятий на ОАО «Комбинат КМАруда»

Мероприятия	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Освоение средств на выполнение природоохранных мероприятий, тыс. руб.	298,9	403	693,84	701	990,96	2083,73
Плата за негативное влияние на окружающую среду, тыс. руб.	4,2	18	24,1	494	601	648,45

Из таблицы 2 видно, что за рассматриваемый период освоение средств на выполнение природоохранных мероприятий возросло в 7 раз, платежи за негативное влияние на окружающую среду увеличились в 154 раза.

Известно, что чем больше средств вкладывается в природоохранную деятельность, тем меньше их понадобится для ликвидации ущерба от загрязнения окружающей среды. Эффективность природоохранной деятельности горного предприятия основывается на сумме предотвращаемых ущербов от загрязнения окружающей среды и прироста дохода от улучшения производственных результатов вследствие проведения природоохранных мероприятий. Предотвращаемый ущерб от загрязнения среды - это разность между величиной ущерба, который имел место до осуществления реализованных природоохранных мероприятий, и величиной остаточного ущерба после проведения этих мероприятий.

Проведенный анализ показал, что эффективность природоохранных мероприятий основывается на величине ликвидированного или предотвращенного ущерба от нарушения окружающей среды и потерь природных ресурсов. Превышение экономического результата над затратами на его достижение свидетельствует об экономической эффективности природоохранных мероприятий.

ОБЗОР НАРУЖНОЙ СВЕТОТЕХНИКИ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ ОТ 60 ДО 120 ТОНН

Тургенев И.А.

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева Россия, г. Кемерово
e-mail: bkmz131299@mail.ru, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.*

Аннотация. В статье проведен обзор наружной светотехники карьерных самосвалов грузоподъемностью от 60 до 120 тонн. Рассмотрены, виды, места установки и количество светотехники на карьерных самосвалах: Hitachi, Komatsu, БелАЗ, Caterpillar, Volvo.

Ключевые слова: горные машины; карьерный самосвал; наружная светотехника.

OVERVIEW OF OUTDOOR LIGHTING EQUIPMENT OF DUMP TRUCKS FROM 60 TO 120 TONS

Turgenev I.A.

*Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev Russia, Kemerovo
bkmz131299@mail.ru, Russia, 650000, Kemerovo, Vesennaya str., 28.*

Abstract. The article provides an overview of the outdoor lighting equipment of quarry dump trucks with a load capacity from 60 to 120 tons. The types, places of installation and quantity of lighting equipment on mining dump trucks are considered: Hitachi, Komatsu, BelAZ, Caterpillar, Volvo.

Keywords: mining machines; quarry dump truck; outdoor lighting equipment.

Разработка месторождений полезных ископаемых (ПИ) открытым способом в мире имеет тенденцию к росту [1-6]. Одним из процессов добычи ПИ открытым способом является транспортирование горной массы в места складирования. Данный процесс осуществляют в основном автомобильным транспортом, представленный карьерными самосвалами (КС) [7-13].

КС эксплуатируются круглые сутки с перерывами на заправку, пересменку в течении которой производится внешний осмотр [14-20]. Видимость при эксплуатации меняется кардинально быстро из-за погодных условий. Для лучшей видимости и оповещения других участников, занятых на работы в карьере, на КС устанавливается наружная светотехника. У разных производителей КС разный список элементов светотехники с разными местами

установки.

Рассмотрим основные элементы наружной светотехники.

К основной наружной светотехники КС относятся:

1) Фары ближнего света (Рис. 1) – световой прибор, предназначенный для освещения дороги впереди КС. Светотехнические параметры фар ближнего света подбираются так, чтобы обеспечить видимость дороги впереди КС на 50-60 метров и безопасный разъезд на сравнительно узкой дороге без ослепления встречных водителей. Устанавливают на переднем бампере и на плечах рамки радиатора, в количестве от 2 до 8 штук.

2) Дневные ходовые огни – внешние световые приборы, предназначенные для улучшения видимости движущегося транспортного средства спереди в светлое время суток. Устанавливают в лобовой части карьерного самосвала, чаще всего рядом с габаритными огнями, в количестве 2 штук.

3) Фары дальнего света (Рис.2) – специальные осветительные приборы транспортного средства, которые обеспечивают хорошую видимость дороги в темное время суток или на темных участках дороги. Устанавливают на лобовой части карьерного самосвала рядом с фарами ближнего света, в количестве от 2 до 8 штук.



Рис. 1 – Фары ближнего света на КС
Komatsu



Рис. 2 – Фары дальнего света на КС
фирмы Komatsu

4) Габаритные огни служат для обозначения габарита КС. Чаще всего их устанавливают с боковых сторон переднего и заднего бампера, но также есть варианты, когда устанавливали дополнительные габаритные огни на борта КС.



Рис. 3 – Габаритные огни на КС БелАЗ

5) Стоп-сигналы (Рис.4) – световые приборы, сигнализирующие о применении тормозной системы на автомобиле. Устанавливают на задней части КС, чаще всего это задний бампер и под краем грузовой платформы, в количестве от 2 до 6 штук.

6) Фонари заднего хода (Рис. 5) – световые приборы белого цвета для обеспечения достаточной видимости при движении задним ходом. Устанавливают на задней части КС, чаще всего это задний бампер или под краем грузовой платформы, в количестве от 2 до 8 штук.

7) Указатели поворотов (Рис.6) – световой мигающий сигнал, обозначающий поворот в ту или иную сторону. Устанавливают на углах корпуса карьерного самосвала, а также иногда дополнительно устанавливаются по бортам карьерного самосвала, в количестве от 4 до 12 штук (4 основных и до 8 дополнительных).



Рис. 4 – Стоп сигналы на КС фирмы Volvo



Рис. 5 – Фары заднего хода на КС
БелАЗ



Рис. 6 – Указатели поворотов на КС
Komatsu

8) Противотуманные фары (Рис. 7) – световой прибор, предназначенный для освещения дорожного покрытия в условия недостаточной видимости. Устанавливаются на крайней части палубы, смещенные по обеим сторонам относительно центра КС, в количестве от 2 до 6 штук.



Рис. 7 – Противотуманные фары на КС Caterpillar

9) Фонари рабочего света иногда их устанавливают по бортам карьерного самосвала, как дополнительное боковое освещения в условиях тёмного времени суток, при недостаточной видимости, а также как освещение для проведения аварийно-восстановительных работ.

10) Проблесковый маячок (Рис. 8) – устройство, устанавливаемое на специальном транспортном средстве и подающее мигающие световые сигналы, говорящие об особом статусе машины. Устанавливается на палубе или на крыше кабины водителя, в количестве от 1 до 2 штук.



Рис. 8 – Проблесковые маячки, установленные на крыше кабины Komatsu 960E

11) Лампа освещения лестницы (Рис. 9) – фонарь для освещения лестницы во время спуска и подъема по ней в темное время суток. Устанавливает поверх лестницы, либо между ступеньками в количестве 1-2 штук.



Рис. 9 – Фонарь подсветки лестницы на КС БелАЗ

В статье проведен обзор наружной светотехники по назначению, представлены места установки. Данный обзор позволит составить список необходимой наружной светотехники разрабатываемого КС грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией на основе цифровых технологий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2020-031 от 14.12.2020г. с ПАО "КАМАЗ" по комплексному проекту «Создание высокотехнологичного производства семейства роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией на основе цифровых технологий», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dubinkin, D. Justification of the Number and Type of Tire Size for a Dump Truck with a

Lifting Capacity from 90 to 130 Tons / D. Dubinkin, A. Kulpin, D. Stenin // E3S Web of Conferences : 5, Kemerovo, 19–21 октября 2020 года. – Kemerovo, 2020. – P. 03015. – DOI 10.1051/e3sconf/202017403015.

2. Разработка критериев обеспечения совместной работы источников энергии для создания новых карьерных самосвалов / Н. В. Бузунов, Р. Д. Пирожков, А. Б. Карташов, Д. М. Дубинкин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 6(142). – С. 87-97. – DOI 10.26730/1999-4125-2020-6-87-97.

3. Об интенсивности изменения производительности автономной тяжелой платформы / М. А. Тюленев, С. О. Марков, Д. М. Дубинкин, В. В. Аксенов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 1(143). – С. 97-108. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-1-97-108.

4. Метод определения энергоэффективного закона движения карьерного автосамосвала / А. Б. Карташов, Б. Б. Косицын, Г. О. Котиев [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 3(149). – С. 11-24. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-3-11-24.

5. Разработка структуры системы управления беспилотным карьерным самосвалом / Д. М. Дубинкин, В. Ю. Садовец, И. С. Сыркин, И. В. Чичерин // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 6(152). – С. 25-30. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-6-25-30.

6. Ensuring Energy Efficiency and Safety of the Cyclic Operation of the Mining Dump Truck / A. Kartashov, B. Kositsyn, G. Kotiev [et al.] // E3S Web of Conferences : 5, Kemerovo, 19–21 октября 2020 года. – Kemerovo, 2020. – P. 03009. – DOI 10.1051/e3sconf/202017403009.

7. Мониторинг динамического состояния автономных тяжелых платформ на карьерных маршрутах горнорудных предприятий / С. Г. Костюк, И. В. Чичерин, Б. А. Федосенков, Д. М. Дубинкин // Устойчивое развитие горных территорий. – 2020. – Т. 12. – № 4(46). – С. 600-608. – DOI 10.21177/1998-4502-2020-12-4-600-608.

8. Дубинкин, Д. М. Обоснование количества и типа размера шин для беспилотных карьерных самосвалов / Д. М. Дубинкин, А. Б. Карташов, Г. А. Арутюнян // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 3(149). – С. 25-33. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-3-25-33.

9. Using a wavelet medium for computer-aided controlling the movement of unmanned vehicles along quarry routes / I. Chicherin, B. Fedosenkov, I. Syrkin [et al.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – No 2. – P. 103-112. – DOI 10.21440/0536-1028-2021-2-103-112.

10. Design hydrodynamic analysis of cavitation in narrow channels of the open-pit dump truck's hydraulic system / D. A. Panasenkov, A. P. Zaycev, A. B. Kartashov [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIET'2020, Veliky

Novgorod, 25–26 июня 2020 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012057. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012057.

11. Simulation of operation of a sequential hybrid drive of a haul truck with a traction battery and a bilateral DC-to-DC converter / N. V. Buzunov, R. D. Pirozhkov, A. B. Kartashov [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPC IET'2020, Veliky Novgorod, 25–26 июня 2020 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012017. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012017.

12. Assessment of the Need to Create Control Sytem of Unmanned Dump Truck / D. Dubinkin, V. Sadovets, I. Syrkin, I. Chicherin // E3S Web of Conferences : 18, Ekaterinburg, 02–11 апреля 2020 года. – Ekaterinburg, 2020. – P. 03022. – DOI 10.1051/e3sconf/202017703022.

13. Разработка критериев обеспечения гидравлических процессов в узких каналах гидросистемы при создании новых карьерных самосвалов / Д. А. Панасенков, А. П. Зайцев, Н. А. Пикалов [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 6(142). – С. 98-108. – DOI 10.26730/1999-4125-2020-6-98-108.

14. Кузин, Е. Г. Анализ отказов узлов карьерных самосвалов в условиях эксплуатации / Е. Г. Кузин, Е. Ю. Пудов, Д. М. Дубинкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 2(154). – С. 55-61. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-2-55-61.

15. Дубинкин, Д. М. Обоснование конструктивного решения трансмиссии автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн / Д. М. Дубинкин, Д. А. Пашков, Н. А. Архипский // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 3(155). – С. 12-19. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-3-12-19.

16. Оценка степени взаимовлияния вместимости ковша экскаватора и кузова автосамосвала / А. А. Хорешок, Д. М. Дубинкин, С. О. Марков, М. А. Тюленев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 3(145). – С. 104-112. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-3-104-112.

17. Study of the control algorithm of the braking system of an autonomous haul truck braking system with the use of imitational models / D. Dubinkin, A. Kartashov, A. Muraviev [et al.] // E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 03021.

18. The wavelet transforms technique in the com-puter-aided system for controlling the quarry unmanned vehicles / I. V. Chicherin, B. Fedosenkov, D. M. Dubinkin, W. Zhenbo // E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 03022.

19. Дубинкин, Д. М. Обоснование типа передней подвески автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн / Д. М. Дубинкин, Д. А. Пашков, А. Е. Ушаков //

Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 5(157). – С. 10-18. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-5-10-18.

20. Evaluating the impact of excavator bucket capacity on the output of a haul truck in different variants of their positioning / V. V. Aksenov, D. M. Dubinkin, A. A. Khoreshok [et al.] // Journal of physics: conference series : 3rd International Scientific and Practical Conference on Mathematical Modeling, Programming and Applied Mathematics (MMPAM 2021), Volume 2052, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing, 2021. – P. 012001. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012001.

ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СУХОГО ДООБОГАЩЕНИЯ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «БАПЫ»

Терехин Е.П., Кусепова Д.

*Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (Губкинский филиал), 309186
Российская Федерация, Белгородская обл. г. Губкин, ул. Комсомольская, 16
teryekhin50@mail.ru, +7(910) 369-75-33*

***Аннотация.** При разработке железных магнетитовых руд месторождения «Балпы» на юге Карагандинской области Казахстана сырье обогащается на сухих магнитных сепараторах. Для повышения общего содержания железа в реализуемом концентрате на 2% предлагается выделить класса -0.5 мм в промпродукте и его обогащение до 56% -58%Fe. Для реализации технологии дообогащения разработана конструкция жалюзийного воздушного классификатора и применены валковые магнитные сепараторы.*

Ключевые слова: обогащение; магнетит; воздушный классификатор; магнитный сепаратор.

SELECTION OF EQUIPMENT FOR DRY ORE ENRICHMENT BAPA DEPOSITS

Teryekhin E.P., Kusepova D.

*Branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University
"MISIS" in Gubkin, Belgorod region, Russia, Gubkin
teryekhin50@mail.ru, 7(910) 369-75-33*

***Abstract.** During the development of iron magnetite ores of the Bapy deposit in the south of the Karaganda region of Kazakhstan, raw materials are enriched on dry magnetic separators. To increase the total iron content in the sold concentrate by 2%, it is proposed to allocate a class of -0.5 mm in the industrial product and enrich it to 56% -58%Fe. To implement the technology of additional enrichment, the design of a louvered air classifier was developed and roller magnetic separators were used.*

Keywords: enrichment; magnetite; air classifier; magnetic separator.

При разработке железных магнетитовых руд месторождения «Балпы» на юге Карагандинской области Казахстана сырье обогащается на сухих магнитных сепараторах до

концентрации по железу 52-54% класса -10мм, что и является конечной коммерческой продукцией. Качественный анализ гранулометрического состава готовой продукции выявил падение содержания железа до 42-46% в классе -0.5 мм. Это обусловлено тем, что магнитные аппараты настроены на работу с фракциями +5 мм, а частицы диаметром минус 0.5 засорены сростками с низким содержанием железа. Выделение класса -0.5 мм и его обогащение до 56%-58%Fe повысит общее содержание железа в реализуемом концентрате, примерно, на 2%. Актуальность механического выделения мелких классов и их эффективного обогащения с помощью специальных сухих магнитных сепараторов не вызывает сомнения в связи с наличием этой проблемы и на других горных предприятиях с технологией сухого обогащения.

Цель прикладных исследований: повышение содержания железа в промпродукте путем выделения и дообогащения мелких классов с применением специального оборудования.

Задачи:

- анализ существующего оборудования для сухого выделения мелких классов и дообогащения;
- разработка технологической схемы дообогащения магнетитовых руд;
- расчет и подбор оборудования для классификации и магнитной сепарации мелких классов;
- обоснование экономической эффективности предлагаемого проекта.

Мелкодисперсные частицы размером менее 1 мм трудно выделять на грохотах, особенно когда вмещающей породой является глина и для извлечения магнетита с помощью магнитной сепарации предварительно необходимо разделить эти материалы.

Воздушные или пневматические классификаторы наиболее эффективны при разделении мелкозернистых сухих материалов, когда при определенном режиме потока воздуха крупные частицы осаждаются под действием сил тяжести, а мелкие выеиваются в осадительные устройства. Удельная нагрузка гравитационных пневматических классификаторов достигает $20 \text{ т/ч}\cdot\text{м}^2$ при разделении по граничному зерну 0,1 мм, а для грохотов эта величина составляет только $0,2 \text{ т/ч}\cdot\text{м}^2$ [1].

Наиболее известны каскадно-гравитационные классификаторы, в которых соотношение сил тяжести и аэродинамического сопротивления заставляет крупные частицы опускаться вниз, а мелкие подниматься вверх и осаждаться в следующей секции или циклонах.

Принцип действия центробежных динамических классификаторов основан на закручивании воздушного потока вращающимся ротором и разделении частиц сыпучих материалов по крупности или плотности за счет соотношения центробежных сил и сил тяжести.

Воздушные сепараторы этих типов с внешней циркуляцией имеют более высокую производительность, но громоздки, сложны в эксплуатации и применяются в промышленности редко.

Наибольший практический интерес среди пневматических аппаратов сепарации сыпучих материалов представляют жалюзийные воздушные классификаторы с обратным прососом воздуха, лабораторные образцы которого показывают хорошие результаты разделения, но серийное производство их пока не налажено. Исходная руда (рис. 1) подается на наружную поверхность жалюзийной решетки и разрыхляется на ней, кроме того отпадает необходимость герметизации узлов подачи и разгрузки крупного класса, что существенно упрощает конструкцию.

Этот тип классификаторов представляет интерес, особенно в тех задачах, где острота разделения не является главным критерием отбора мелкого класса. К этому типу задач относится указанная выше проблема выделения мелкого класса из железорудного концентрата и его последующего обогащения, так как граница по крупности, с которой происходит резкое снижение концентрации железа, размыта.

Для магнитной сепарации выделенного мелкого класса руды запатентован [2] новый сепаратор, принципиальное отличие которого заключается в том, что руда в магнитное поле подается с низу по внутренней поверхности несущей ленты, которая огибает барабан и отстоит от него на некоторое расстояние. В зазоре между барабаном и лентой происходит разделение: частицы магнетита отрываются от поверхности несущей ленты и притягиваются к вращающемуся немагнитному барабану, а пустая порода остается на ленте. Изменяя скорость движения ленты отражателя, можно эффективно выделять магнитную фракцию частиц с широким спектром значений магнитной восприимчивости частиц.

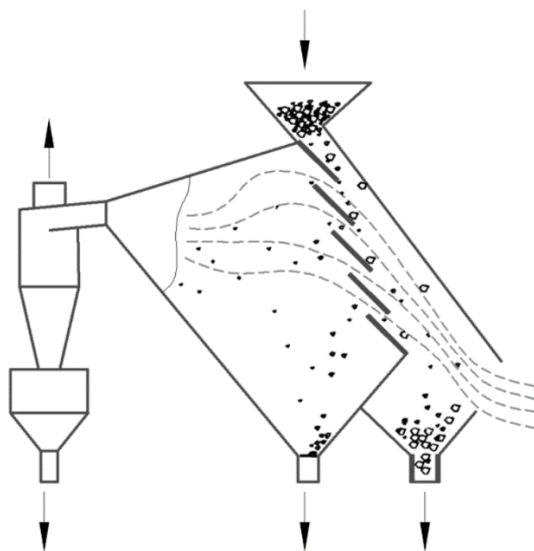


Рис. 1 – Схема жалюзийного
воздушного классификатора

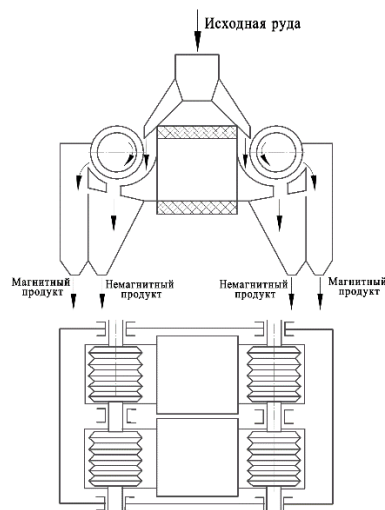


Рис. 2 – Схема валкового
магнитного сепаратора

Эта перспективная конструкция находится на стадии лабораторных исследований, поэтому для магнитной сепарации мелких классов предлагается использовать серийный валковый магнитный сепаратор (рис. 2). Его конструкция позволяет в зависимости от степени магнитной восприимчивости материала, крупности его частиц и условий обогащения подбирать наиболее эффективный режим работы сепаратора: величину индукции магнитного поля, величину рабочего зазора, частоту вращения валков, положение поворотных шиберов ванн.

Рассмотрев представленное оборудование для воздушной классификации и магнитной сепарации измельченных слабомагнитных руд можно сделать вывод, что оптимальным вариантом для решения поставленной задачи будет включение в технологическую схему (рис. 3) участка дообогащения, в состав которого войдут жалюзийный воздушный классификатор с обратным прососом воздуха для выделения класса $-0,5$ мм в комплекте с аспирационным оборудованием и валковый сепаратор с сильным магнитным полем.

Одной из задач исследования является разработка пневматического классификатора для удаления пылевидных частиц размером менее 74 мкм в промпродукте (фракция -10 мм). Конечное содержание частиц менее 74 мкм ($-0,74$ мм) в готовом продукте – песках ($74 - 500$ мкм) не должно превышать 5% . Определение режимных и конструктивных параметров классификатора [3] начинается с расчета производительности по исходному питанию $Q = 157$ т/ч. Скорость воздушного потока через жалюзи лабораторного аппарата составит $w_p = 5,7$ м/с, при расходной концентрации $\mu = 5$ кг/м³. Эти параметры являются основой для

расчета геометрии жалюзи и корпуса проектируемой установки под требуемый продукт, что указано на рис.4.

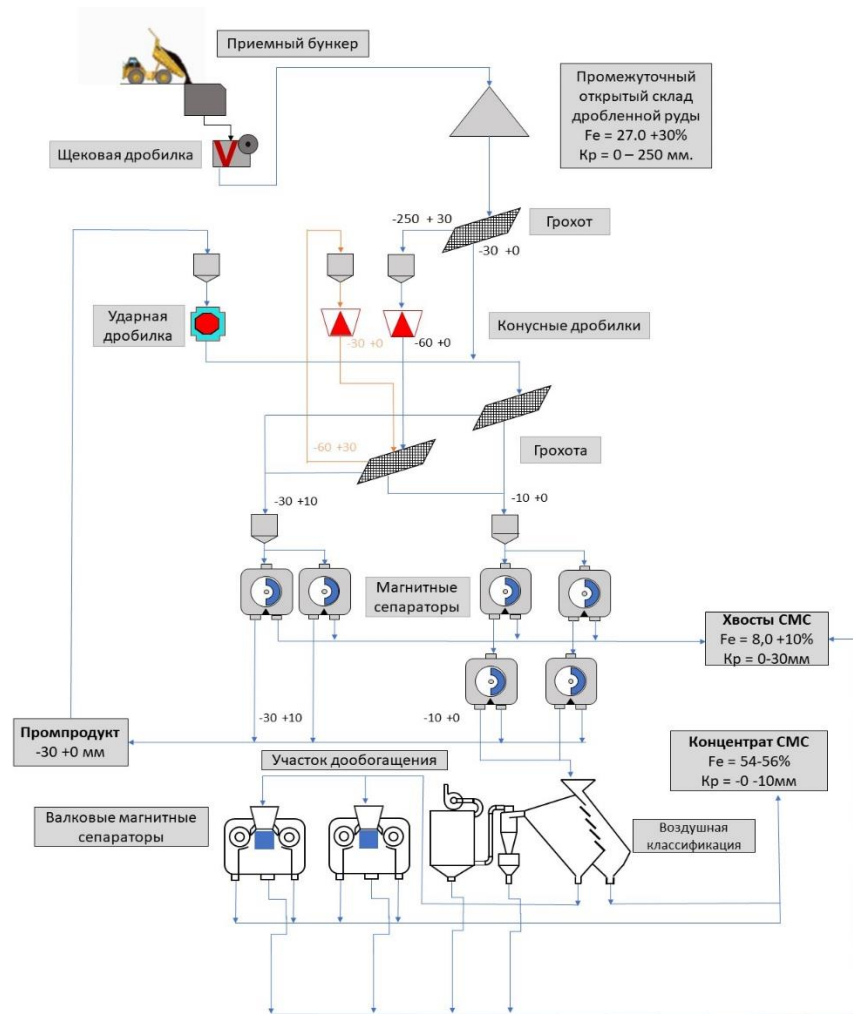


Рис. 3 – Технологическая схема дообогащения руд месторождения «Бапы»

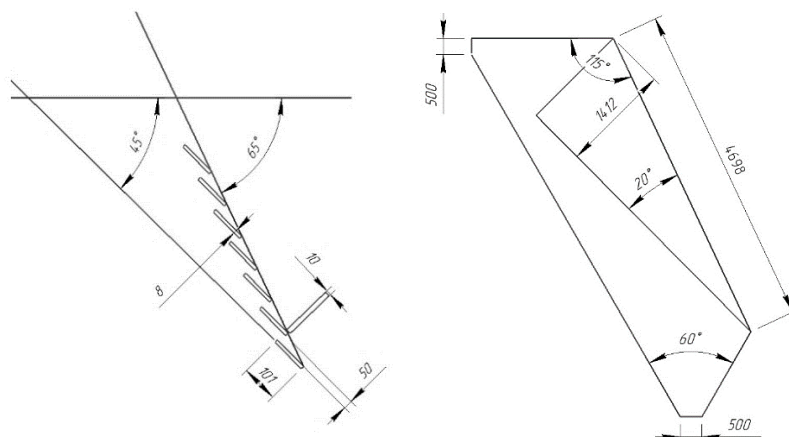


Рисунок 4 – Расчетные конструктивные параметры жалюзийного воздушного классификатора

Для выбора вентилятора высокого давления необходимо определить потери давления в классификаторе и аспирационной системе (см. рис. 3 и табл.1)

Такой напор может обеспечить вентилятор высокого давления, например ВР132–30–10 (при $V = 25000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $n = 1750 \text{ об/мин}$, $P = 5500 \text{ Па}$).

После участка воздушной классификации количество материала, поступающего на магнитную сепарацию составит не более 30 т/ч крупностью до 1 мм. Дообогащение обеспечат два сепаратора 2ЭВС-36/100, предназначенные для сухого магнитного обогащения слабомагнитных руд, доводки концентратов и обезжелезнения различных материалов.

Таблица 1 – Потери давления в классификаторе и аспирационной системе

№ участка	Описание участка	Потери давления
1	Пневматический классификатор	Из опыта проектирования потери давления $\Delta P = 500 \text{ Па}$
2	Воздуховод от сепаратора до батареи циклонов, где ξ – коэффициент аэродинамического сопротивления воздуховода через приведенную длину трубы, ρ_v – плотность воздуха, w – скорость воздушного потока	$\Delta P = \xi \frac{\rho_v w^2}{2} =$ $= 0,03 \frac{4,26}{0,510} \frac{1,292 \cdot 20,21^2}{2}$ $\Delta P = 66 \text{ Па}$
3	Группа из 4-х циклонов ЦН-15	$\Delta P = 1048 \text{ Па}$
4	Воздуховод от батареи циклонов до рукавного фильтра	$\Delta P = 323 \text{ Па}$
5	Рукавный фильтр	$\Delta P = 651 \text{ Па}$
6	Воздуховод от рукавного фильтра до вентилятора	$\Delta P = 1231 \text{ Па}$
7	Выхлопная труба	$\Delta P = 248 \text{ Па}$
1-7	Общие потери давления в тракте	$\Delta P = 4065 \text{ Па.}$

Таким образом, предложенная технологическая схема сухого дообогащения железных магнетитовых руд месторождения «Бапы» с применением жалюзийного воздушного классификатора и валкового магнитного сепаратора позволит повысить общее содержание железа в реализуемом концентрате, примерно, на 2%, а годовой экономический эффект при переработке 3 млн т руды превысит 500 тыс. у.е.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарев В.Б. Применение пневматических каскадных классификаторов для фракционирования тонкодисперсных порошков. [Электронный ресурс]. URL: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/27621/1/ivmim_2012_20.pdf
2. Евразийский патент №025638. Чокин К.Ш., Едильбаев А.И., Едильбаев Б.А., Югай В.Д.. Устройство и способ магнитной сепарации. выдан 30.01.2017г.
3. Пономарев В.Б. Расчет и проектирование оборудования для воздушной сепарации сыпучих материалов // Учебное электронное текстовое издание, 124С, Информационный портал УрФУ, Екатеринбург, 2015, [Электронный ресурс]. URL: <http://study.urfu.ru>

ОБЗОР КОМПЛЕКТАЦИЙ НИЗКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ ОТ 45 ДО 60 Т

Тургенев И.А.

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева Россия, г. Кемерово
bkmz131299@mail.ru, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.*

Аннотация. В статье проведен обзор комплектаций низковольтного электрооборудования карьерных самосвалов грузоподъемностью 45-60 т. Установлен перечень обязательного низковольтного оборудования для будущих карьерных самосвалов.

Ключевые слова: горные машины; карьерный самосвал; низковольтное электрооборудование.

OVERVIEW OF COMPLETE SETS OF LOW-VOLTAGE EQUIPMENT OF MINING DUMP TRUCKS FROM 45 TO 60 TONS

Turgenev I.A.

*Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev Russia, Kemerovo
bkmz131299@mail.ru, Russia, 650000, Kemerovo, Vesennaya str., 28.*

Abstract. The article reviews the complete sets of low-voltage electrical equipment of mining dump trucks with a lifting capacity of 45-60 tons. A list of mandatory low-voltage equipment for future mining dump trucks has been established.

Keywords: mining machines; quarry dump truck; electrical equipment.

Во всем мире увеличивается тенденция добычи полезных ископаемых (ПИ). Доля добычи ПИ открытым способом составляет более 70 % [1-4]. Для транспортирования горной массы на карьерах применяют различный вид транспорта. Основным является автомобильный, представитель которого – карьерный самосвал (КС) [4-7]. КС представлены линейками различной грузоподъемности. Наиболее популярными являются от 90 до 220 т, однако на части карьеров нашли применение КС грузоподъемностью от 45 до 60 т, которым присуще такие достоинства, как маневренность, малые габариты, меньший расход топлива по сравнению с КМ большей грузоподъемности [8-10].

Одной из систем КС является низковольтное электрооборудование. В КС множество систем, где используется модуляция приказного сигнала по средствам подачи электрического

сигнала от кнопок управления или блока управления, находящиеся в кабине или в командном блоке. Рассмотрим основные компоненты КС, которые управляются по средствам низкого напряжения (24 В, 12 В).

Основные элементы низковольтного оборудования Komatsu HD465-7 (55 т) питаются за счет 2 свинцово-кислотных аккумуляторных батарей на основе свинца, емкостью 200 Ач. Список основных элементов входящие в КС по системам представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Комплектация КС Komatsu HD758-7

Блок	Оборудование
Двигатель	Автоматическая система установки холостых оборотов (AISS); система выбора режима работы;
Кабина	прикуриватель; система управления положением кузова; электронная система индикации и контроля состояния; окно с сервоприводом стекла; стеклоомыватель и стеклоочиститель лобового стекла (с прерывистым режимом работы); система отсечки топлива; система контроля положения машины; система торможения дросселированием выхлопа;
Система освещения	фара заднего хода; система аварийной сигнализации; головное освещение с переключением на «ближнее» / «дальнее»; стоп-сигналы;
Другое оборудование	электрический автоматический выключатель, 24 В; централизованная система смазки; разъединитель аккумуляторной батареи; звуковой сигнал заднего хода; устройство автоматического замедления скорости передвижения (ARSC); система отключения переднего тормоза; система предупреждения о работе двигателя вразнос; аварийная система рулевого управления;
Оборудование по заказу	кондиционер; нагреватель и дефростер; радиоприемник диапазона AM/FM;

Блок	Оборудование
	задние рабочие фонари, с левой и правой стороны; противотуманные фары; антиблокировочная тормозная система (ABS); антипробуксовочная система (ASR); автоматическое аварийное рулевое управление; камера заднего вида и монитор; нагревательный элемент двигателя; счетчик полезной нагрузки; трехрежимная гидропневматическая подвеска; вспомогательное пусковое устройство (APS);

Основные элементы низковольтного оборудования Hitachi EH 1000 (60 т) питаются за счет 2 свинцово-кислотных аккумуляторных батарей на основе свинца. Список основных элементов входящие в КС по блокам представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Комплектация КС Hitachi EH 1000

Блок	Оборудование
Кабина	Автоматический круиз-контроль; автоматическая смазочная система (Lincoln); выключатель аккумуляторных батарей; система подъема кузова с электрическим управлением; электрические звуковые сигналы (4 шт.); система измерения массы груза; система контроля максимальной скорости в соответствии с загрузкой; видеокамера заднего вида; видеокамера бокового вида (правая); система состояния автомобиля и индикация аварийных ситуаций.
Система освещения	сигналы заднего хода (2 шт.); габаритные огни (4 шт.); задние комбинированные огни (стоп-сигналы и габаритные огни); фонари освещения верхней площадки; фонарь освещения диагональной передней лестницы; фонари освещения моторного отсека; галогенные фары;

Блок	Оборудование
	наружные индикаторы массы груза; фонарь освещения отсека заднего моста;
Другое оборудование	электрический автоматический выключатель, 24 В; система быстрой заправки эксплуатационными жидкостями оборудование системы быстрой заправки топливом отсек аккумуляторных батарей, доступный с уровня земли
Оборудование по заказу	система связи (два варианта): - система связи GPRS - система спутниковой передачи данных; подогреваемые зеркала; ксеноновые фары (8 шт.); дисплей-индикаторы массы груза (2 шт.); SkyAngle, система видеонаблюдения с периферийным обзором;

Основные элементы низковольтного оборудования Тонар 7501 (45 т) питаются за счет 2 свинцово-кислотных аккумуляторных батарей на основе свинца. Список основных элементов входящие в КС по блокам представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Комплектация КС Тонар 7501

Блок	Оборудование
Кабина	Электрорегулировки положения сидения; подогрев сидений; автономный отопитель (опция); автомагнитола; бортовой компьютер; СПВЛ (опция); прикуриватель; система подогрева топлива; отопительный блок; регулировка оборотов двигателя; система управления ретардером; система управления блокировки дифференциала; стеклоочиститель и стеклоомыватель 3 режимный;

Блок	Оборудование
	система состояния узлов автомобиля и индикация аварийных режимов работы.
Система освещения	две основные фары с ближним, дальним светом и габаритными огнями; проблесковый маячок; прожектор рабочей площадки; указатели поворотов с оранжевыми рассеивателями; задние трёх и односекционные светодиодные габаритные огни; освещения номерного знака; фонари заднего хода; противотуманные фонари; освещение подкапотного пространства;
Другое оборудование	электрический автоматический выключатель, 24 В; централизованная система смазки (Lincoln); звуковые сигналы; кондиционер; система аварийного пожаротушения; обогрев зеркал.

Из данного анализа низковольтного оборудования КС грузоподъемностью от 45 до 60 т выделен обязательный комплект низковольтного оборудования нового КС. Перечень представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Перечень обязательного низковольтного оборудования нового КС

Блок	Оборудование
Кабина	Прикуриватель; электронная система управления разгрузкой (с позиционером кузова); электронная система отображения данных технического обслуживания/бортового контроля; окна с сервоприводами стекла; омыватель лобового стекла и стеклоочиститель; система контроля заряда аккумуляторных батарей; электронные органы управление тормозной системы; электронные органы рулевого управления; кондиционер;

Блок	Оборудование
	лампа освещения кабины; обогреватель и система обогрева стекол; установленный разъем для диагностики систем; розетка электропитания, 12В; полуактивное сиденье водителя, с системой обогрева и поясничной опорой, и пневматической подвеской, управляемой; система контроля давления в шинах; автоматическая система смазки; антиблокировочная система; антипробуксовочная система; система пожаротушения; управление принудительного включения вентилятора; система управления приводом зеркал; подогрев зеркал; блок управления внешним освещением; распределение усилий на передний и задний контур тормозных; электронный рычаг переключения передач; электронный рычаг подъема кузова; концентратор температур; регулятор повышения холостых оборотов двигателя; выключатель дублирующего привода рулевого управления; кнопочный выключатель подключения к электрической сети системы; управления гидромеханической передачей; электронная приборная панель;
Система освещения	передние фары; указательный фонарь, стоп-сигнал и задние фонари (светодиодного типа); указатели поворота; аварийная сигнализация; противотуманные фары передние и задние; подсветка лестницы; фары-прожектора подсветки рабочего пространство;
Другое оборудование	электрический автоматический выключатель, 24В; разъединитель аккумуляторной батареи; камеры кругового обзора с системой регистрации и транслирования;

Блок	Оборудование
	аккумуляторные батареи 4·12 в (включенные попарно-параллельно); система обогрева топлива;

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2020-031 от 14.12.2020г. с ПАО "КАМАЗ" по комплексному проекту «Создание высокотехнологичного производства семейства роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией на основе цифровых технологий», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dubinkin, D. Justification of the Number and Type of Tire Size for a Dump Truck with a Lifting Capacity from 90 to 130 Tons / D. Dubinkin, A. Kulpin, D. Stenin // E3S Web of Conferences : 5, Kemerovo, 19–21 октября 2020 года. – Kemerovo, 2020. – P. 03015. – DOI 10.1051/e3sconf/202017403015.
2. Разработка критериев обеспечения совместной работы источников энергии для создания новых карьерных самосвалов / Н. В. Бузунов, Р. Д. Пирожков, А. Б. Карташов, Д. М. Дубинкин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 6(142). – С. 87-97. – DOI 10.26730/1999-4125-2020-6-87-97.
3. Об интенсивности изменения производительности автономной тяжелой платформы / М. А. Тюленев, С. О. Марков, Д. М. Дубинкин, В. В. Аксенов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 1(143). – С. 97-108. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-1-97-108.
4. Метод определения энергоэффективного закона движения карьерного автосамосвала / А. Б. Карташов, Б. Б. Косицын, Г. О. Котиев [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 3(149). – С. 11-24. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-3-11-24.
5. Разработка структуры системы управления беспилотным карьерным самосвалом / Д. М. Дубинкин, В. Ю. Садовец, И. С. Сыркин, И. В. Чичерин // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 6(152). – С. 25-30. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-6-25-30.
6. Ensuring Energy Efficiency and Safety of the Cyclic Operation of the Mining Dump Truck / A. Kartashov, B. Kositsyn, G. Kotiev [et al.] // E3S Web of Conferences : 5, Kemerovo, 19–21 октября 2020 года. – Kemerovo, 2020. – P. 03009. – DOI 10.1051/e3sconf/202017403009.
7. Assessment of the Need to Create Control Sytem of Unmanned Dump Truck / D. Dubinkin,

V. Sadovets, I. Syrkin, I. Chicherin // E3S Web of Conferences : 18, Ekaterinburg, 02–11 апреля 2020 года. – Ekaterinburg, 2020. – P. 03022. – DOI 10.1051/e3sconf/202017703022.

8. Дубинкин, Д. М. Обоснование количества и типа размера шин для беспилотных карьерных самосвалов / Д. М. Дубинкин, А. Б. Карташов, Г. А. Арутюнян // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 3(149). – С. 25-33. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-3-25-33.

9. Using a wavelet medium for computer-aided controlling the movement of unmanned vehicles along quarry routes / I. Chicherin, B. Fedosenkov, I. Syrkin [et al.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – No 2. – P. 103-112. – DOI 10.21440/0536-1028-2021-2-103-112.

10. Дубинкин, Д. М. Обоснование типа передней подвески автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн / Д. М. Дубинкин, Д. А. Пашков, А. Е. Ушаков // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 5(157). – С. 10-18. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-5-10-18.

БЕЗЛЮДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Ушаков А.Е.

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева Россия, г. Кемерово
saha.uhakov@mail.ru, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.*

Аннотация. В статье проведен обзор безлюдных технологий добычи полезных ископаемых открытым способом. Рассмотрены типы управления данных технологий.

Ключевые слова: горные машины; карьерный самосвал; безлюдная технология добычи полезных ископаемых.

DESERTED MINING TECHNOLOGIES

Ushakov A.E.

*Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev Russia, Kemerovo
saha.uhakov@mail.ru, Russia, 650000, Kemerovo, Vesennaya str., 28.*

Abstract. The article provides an overview of unpopulated technologies of open-pit mining. The types of management of these technologies are considered.

Keywords: mining machines; quarry dump truck; deserted mining technology.

Условия добычи полезных ископаемых (ПИ) усложняются ежегодно[1-6]. Основная доля добычи ПИ приходится на открытый способ, более 70 %[7-13]. Ухудшение условий сказывается на человека не в лучшую сторону. В связи с этим ведутся разработки по созданию безлюдных технологий добычи ПИ[14-20], одним из результатов которых должно стать повышение промышленной безопасности производства.

На некоторых карьерах мира уже применяются безлюдные технологии [21-24], однако безлюдными являются некоторые участки. Примере этих технологий представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Действующие интеллектуальные рудники, работающие в автономном режиме

Год	Компания	Карьер	Страна	Производитель	Модель	Количество техники
2008	Codelco	Gabriela	Chili	Komatsu	930E-AT	17
2008	RioTinto	WestAngelas	Australia	Komatsu	930E-AT	5

Год	Компания	Карьер	Страна	Производитель	Модель	Количество техники
2012	RioTinto	Yandicoogina	Australia	Komatsu	930E-AT	22
2012	RioTinto	HopeDowns	Australia	Komatsu	930E-AT	19
2012	Fortescue	Solomon	Australia	Caterpillar	793F	54
2013	RioTinto	Nammuldi	Australia	Komatsu	930E-AT	30
2013	RCT	Удачныйский ГОК	Россия	Caterpillar	740B	4
2018	Canadian Natural Resources Lmtd	Jackpine	Canada	Caterpillar	797	3
2018	ImperialOil	Kearloilsandsmine	Canada	Caterpillar	797F	7
2019	Vale	Brucutumine	Brazil	Caterpillar	793F	13
2019	Vale	CarajásMine	Brazil	Caterpillar	793F	2
2019	СУЭК	Черногорский	Россия	БелАЗ	75131R	2
2020	Гранит	Ситницкое	Беларусь	БелАЗ	758R8	2

Во всем мире при безлюдной технологии добычи ПИ применяются роботизированные комплексы горного оборудования. Комплексы различают по типам удаленного управления. В настоящее время существуют дистанционный и роботизированный (полуавтономный и автономный) типы.

Примерами реализации дистанционного типа управления служат проекты на: Удачныйском ГОКе АК «АЛРОСА» (Рис.1); месторождении «Ситницкое «РУПП "Гранит» (Рис.2); Рио Тинто (Рис.3).

Проект на Удачныйском ГОКе АК «АЛРОСА» включает в себя дистанционную работу и управление работой погрузчика и четырех шарнирно-сочлененных карьерных самосвалов(КС) из пункта управления, оборудованного в комфортабельном мобильном вагоне-доме в арктическом исполнении «Ермак».

Пункт оборудован пультом управления, приемниками, Wi-Fi модулями для передачи аудио- и видеoinформации, креслами операторов, промышленными мониторами и компьютерами. Четыре самосвала и погрузчик дистанционно управляются как с переносных пультов, так и с мобильной станции. Также реализовано автономное управление в комплексе.

В Республике Беларусь на месторождении «Ситницкое РУПП «Гранит» - крупнейшем предприятии в Европе по добыче и переработке щебня проводятся испытания БелАЗ 7558 (90 т). Работа КС тестируется в комплексе с дистанционно-управляемым погрузчиком. Оборудование для управления комплексом выполнено ГК "Цифра".



Рис. 1 – Система дистанционного управления на Удачнике ГОКе АК «АЛРОСА»



Рис. 2 – Пример реализации технологии ГК "Цифра" на месторождении "Ситницкое" РУП "Гранит"



Рис. 3 – Пример действия системы автономных грузоперевозок Front Runner (Рио Тинто, Австралия)

Еще одним примером с дистанционным управлением горного оборудования является проект, реализованный Австралийским концерном «Рио Тинто Групп» («Rio Tinto Group»). При реализации проекта создан центр для удаленного мониторинга горнодобывающих операций и пункты управления. Автономные самосвалы без водителя уже перевозят более

четверти руды и вмещающей породы на рудниках, а поскольку 80 из 400 самосвалов уже работают в автономном режиме, ожидается, что в будущем этот показатель будет расти.

Кроме дистанционного управления набирает популярность автономное управление горным оборудованием на базе искусственного интеллекта. Данное управление позволяет отслеживать с высокой точностью сближение КС, траекторию их движения, контролировать скорость и предотвращать возможные столкновения.

Примером реализации автономного управления служит проект Канадской горнодобывающей компании «Бэррик Голд» («Barrick Gold»). Компания начала внедрять технологии искусственного интеллекта в управление процессами на руднике Кортес в США (штат Невада) совместно с американской Cisco Systems (Рис.4) с целью повышения производительности комплексов оборудования.



Рис. 4 – Технологии искусственного интеллекта на руднике Кортес в США (штат Невада)

Таким образом, на основании опыта реализации проектов по созданию безлюдных технологий для добычи ПИ, отмечается повышение безопасности ведения горных работ и производительности карьеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2020-031 от 14.12.2020г. с ПАО "КАМАЗ" по комплексному проекту «Создание высокотехнологичного производства семейства роботизированных карьерных самосвалов грузоподъемностью до 90 т с электромеханической трансмиссией на основе цифровых технологий», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части

выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dubinkin, D. Justification of the Number and Type of Tire Size for a Dump Truck with a Lifting Capacity from 90 to 130 Tons / D. Dubinkin, A. Kulpin, D. Stenin // E3S Web of Conferences : 5, Kemerovo, 19–21 октября 2020 года. – Kemerovo, 2020. – P. 03015. – DOI 10.1051/e3sconf/202017403015.
2. Разработка критериев обеспечения совместной работы источников энергии для создания новых карьерных самосвалов / Н. В. Бузунов, Р. Д. Пирожков, А. Б. Карташов, Д. М. Дубинкин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 6(142). – С. 87-97. – DOI 10.26730/1999-4125-2020-6-87-97.
3. Об интенсивности изменения производительности автономной тяжелой платформы / М. А. Тюленев, С. О. Марков, Д. М. Дубинкин, В. В. Аксенов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 1(143). – С. 97-108. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-1-97-108.
4. Метод определения энергоэффективного закона движения карьерного автосамосвала / А. Б. Карташов, Б. Б. Косицын, Г. О. Котиев [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 3(149). – С. 11-24. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-3-11-24.
5. Разработка структуры системы управления беспилотным карьерным самосвалом / Д. М. Дубинкин, В. Ю. Садовец, И. С. Сыркин, И. В. Чичерин // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 6(152). – С. 25-30. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-6-25-30.
6. Ensuring Energy Efficiency and Safety of the Cyclic Operation of the Mining Dump Truck / A. Kartashov, B. Kositsyn, G. Kotiev [et al.] // E3S Web of Conferences : 5, Kemerovo, 19–21 октября 2020 года. – Kemerovo, 2020. – P. 03009. – DOI 10.1051/e3sconf/202017403009.
7. Мониторинг динамического состояния автономных тяжелых платформ на карьерных маршрутах горнорудных предприятий / С. Г. Костюк, И. В. Чичерин, Б. А. Федосенков, Д. М. Дубинкин // Устойчивое развитие горных территорий. – 2020. – Т. 12. – № 4(46). – С. 600-608. – DOI 10.21177/1998-4502-2020-12-4-600-608.
8. Дубинкин, Д. М. Обоснование количества и типа размера шин для беспилотных карьерных самосвалов / Д. М. Дубинкин, А. Б. Карташов, Г. А. Арутюнян // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 3(149). – С. 25-33. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-3-25-33.
9. Using a wavelet medium for computer-aided controlling the movement of unmanned vehicles along quarry routes / I. Chicherin, B. Fedosenkov, I. Syrkin [et al.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – No 2. – P. 103-112. – DOI 10.21440/0536-1028-

2021-2-103-112.

10. Design hydrodynamic analysis of cavitation in narrow channels of the open-pit dump truck's hydraulic system / D. A. Panasenkov, A. P. Zaycev, A. B. Kartashov [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIET'2020, Veliky Novgorod, 25–26 июня 2020 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012057. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012057.

11. Simulation of operation of a sequential hybrid drive of a haul truck with a traction battery and a bilateral DC-to-DC converter / N. V. Buzunov, R. D. Pirozhkov, A. B. Kartashov [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIET'2020, Veliky Novgorod, 25–26 июня 2020 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012017. – DOI 10.1088/1757-899X/939/1/012017.

12. Assessment of the Need to Create Control Sytem of Unmanned Dump Truck / D. Dubinkin, V. Sadovets, I. Syrkin, I. Chicherin // E3S Web of Conferences : 18, Ekaterinburg, 02–11 апреля 2020 года. – Ekaterinburg, 2020. – P. 03022. – DOI 10.1051/e3sconf/202017703022.

13. Разработка критериев обеспечения гидравлических процессов в узких каналах гидросистемы при создании новых карьерных самосвалов / Д. А. Панасенков, А. П. Зайцев, Н. А. Пикалов [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 6(142). – С. 98-108. – DOI 10.26730/1999-4125-2020-6-98-108.

14. Кузин, Е. Г. Анализ отказов узлов карьерных самосвалов в условиях эксплуатации / Е. Г. Кузин, Е. Ю. Пудов, Д. М. Дубинкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 2(154). – С. 55-61. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-2-55-61.

15. Дубинкин, Д. М. Обоснование конструктивного решения трансмиссии автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн / Д. М. Дубинкин, Д. А. Пашков, Н. А. Архицкий // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 3(155). – С. 12-19. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-3-12-19.

16. Оценка степени взаимовлияния вместимости ковша экскаватора и кузова автосамосвала / А. А. Хорешок, Д. М. Дубинкин, С. О. Марков, М. А. Тюленев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 3(145). – С. 104-112. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-3-104-112.

17. Study of the control algorithm of the braking system of an autonomous haul truck braking system with the use of imitational models / D. Dubinkin, A. Kartashov, A. Muraviev [et al.] // E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 03021.

18. The wavelet transforms technique in the com-puter-aided system for controlling the quarry unmanned vehicles / I. V. Chicherin, B. Fedosenkov, D. M. Dubinkin, W. Zhenbo // E3S Web of

Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 03022.

19. Дубинкин, Д. М. Обоснование типа передней подвески автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн / Д. М. Дубинкин, Д. А. Пашков, А. Е. Ушаков // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 5(157). – С. 10-18. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-5-10-18.

20. Evaluating the impact of excavator bucket capacity on the output of a haul truck in different variants of their positioning / V. V. Aksenov, D. M. Dubinkin, A. A. Khoreshok [et al.] // Journal of physics: conference series : 3rd International Scientific and Practical Conference on Mathematical Modeling, Programming and Applied Mathematics (MMPAM 2021), Volume 2052, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. – Veliky Novgorod: IOP Publishing, 2021. – P. 012001. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012001.

21. Зырянов И.В. Параметры системы дистанционного управления горнотранспортным оборудованием в условиях Удачинского ГОКа [Электронный ресурс]. – URL: <https://mining-media.ru/ru/article/transport/11297-parametry-sistemy-distantsionnogo-upravleniya-gornotransportnym-oborudovaniem-v-usloviyakh-udachninskogo-goka> (дата обращения 30.11.2021) – Текст. Изображение.: электронные.

22. Владимиров, Д.Я. Обоснование параметров роботизированных горнотехнических систем в осложненных условиях открытой разработки месторождений полезных ископаемых: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / Д.Я. Владимиров. – Магнитогорск, 2016. – 176 с.

23. Акишев А.Н., Зырянов И.В. Перспективы применения безлюдной технологии на карьерах АК «Алроса» // Тезисы научно-практической конференции «ТЕХГОРМЕТ - 21 ВЕК», 15-16 ноября 2012 г., с. 16-17.

24. Аброськин, А.С. Применение современных систем автоматизации на открытых горных работах // Известия ТПУ. – 2015. – №12. – С.122-130.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ГОРНОМ ДЕЛЕ

Чемерис А.А.

*Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО «ННТУ «МИСиС», студент, Российская Федерация, г. Новотроицк,
chemeris24a@yandex.ru, 89228726915*

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы использования электрогидравлического эффекта в горном деле. Показано применение электрогидравлического эффекта во взрывателях, бурении, дроблении и измельчении различных материалов и горных пород, непрерывном коллоидном обогащении материалов, активации и регенерации горных пород, сейсмической разведке.

Ключевые слова: электрогидравлический эффект; горное дело; взрыватели; бурение; дробление; измельчение; активация; регенерация; коллоидное обогащение; сейсмическая разведка.

USING OF ELECTROHYDRAULIC EFFECT IN MINING

Chemeris A.A.

*Novotroitsk branch of the National Research Technological University «MISiS», student, Russian Federation,
Novotroitsk chemeris24a@yandex.ru, 89228726915*

Abstract. The article discusses the issues of using the electrohydraulic effect in mining. The application of the electrohydraulic effect in fuses, drilling, crushing and crushing of various materials and rocks, continuous colloidal enrichment of materials, activation and regeneration of rocks, seismic exploration is shown.

Keywords: electrohydraulic effect; mining; fuses; drilling; crushing; grinding; activation; regeneration; colloidal enrichment; seismic exploration.

Л.А. Юткин, впервые заинтересовавшись в 1933 г. искровыми разрядами в вводе, в 1950 г. подал заявку на «Способ получения высоких и сверхзвуковых давлений» и в 1957 г. учил авторское свидетельство на это основополагающее изобретение в области электрогидравлики, то есть на способ получения электрогидравлического эффекта [1]. При создании внутри объема жидкости специально сформированного импульсного высоковольтного электрического разряда в зоне последнего развиваются сверхвысокие давления, которые можно широко использовать в практических целях, - так Л.А. Юткиным был сформулирован

новый способ трансформации электрической энергии в механическую [2]. С первых дней открытия электрогидравлический эффект является постоянным источником рождения множества прогрессивных технологических процессов, в том числе и в горном деле [3].

Известны предложения по применению электрогидравлических взрывателей, использование которых при переходе штреков шахт и тоннелей непрерывным способом; освобождении прихваченных буровых обсадных труб; гидравлическом разрыве пластов; взрывании хрупких металло- и ионопроводящих материалов, руд, сплавов; взрывании блоков технических камней электрокорунда; штучной выработке кристаллов (горного хрусталя, слюды и др.) и др.

Принципиально новым способом бурения стало электрогидравлическое бурение, при котором электрическая энергия непосредственно в самом забое переходит в механическую работу, разрушая горную породу [3-5].

Новым способом измельчения различных материалов, позволяющим получать заданную степень измельчения при определенном гранулометрическом составе продукта, обладающим высокой избирательностью дробления стало электрогидравлическое дробление, с помощью которого можно дробить и измельчать горные породы, уголь, асбест, слюду, выделять алмазы из кимберлитов и производить другие работы [2]. В электрогидравлическом способе разрушения и дробления твердых материалов в твердом теле бурят шпуры, в каждом из которых создают импульсный высоковольтный электрический разряд в жидкости, воздействующий на тело ударными волнами, производимыми установленными в шпурах электрогидравлическими генераторами ударных волн. Каждый генератор включает электроды, размещенные в заполненном жидкостью изолированном по всей внутренней боковой поверхности цилиндрическом корпусе, и выполнен герметичным с кумулятивными выемками и расположенными в выемках облицовками. Воздействие на тело осуществляют кумулятивными струями. Кумулятивные выемки и облицовки имеют форму и расположение в соответствии с проектируемыми направлениями и выполнены в количестве, равном количеству проектируемых направлений распространения кумулятивных струй. Электроды в электрогидравлических генераторах ударных волн расположены параллельно. Корпуса электрогидравлических генераторов и облицовки выполнены из пластикового материала. Облицовки заполнены жидкостью, имеющей большую плотность, чем вода, например, раствором поваренной соли [6]. Изобретение повышает эффективность разрушения и обеспечивает возможность прогнозирования мест откола материала. Известно

устройство электрогидравлическое кумулятивное для разрушения и дробления твердых материалов, которое включает цилиндрический корпус, заполненный водой, электрический изолятор и два электрода, подключенные к генератору высоковольтных импульсов.

Электрический изолятор установлен в верхнем торце корпуса с образованием герметичной полости и выполнен с отверстиями, в которые установлены параллельно два электрода, при этом корпус выполнен с кумулятивными выемками, отделенными от него облицовками, заполненными жидкостью большей плотности, чем вода [7]. Корпус и облицовки выполнены из пластикового материала. В качестве жидкости для заполнения облицовок используют раствор поваренной соли. Технический результат данного изобретения является повышение эффективности разрушения и дробления твердых материалов.

Известно электрогидравлическое устройство для непрерывного коллоидного обогащения материалов, в котором подлежащий обогащению материал подается в загрузочный бункер, откуда равномерным слоем поступает на конвейерную ленту транспортера, выполненную из проводящего материала. Сверху, вдоль ленты (по ее середине), размещена тонкая и узкая пластина центрального электрода, благодаря этому обогащаемый материал при движении по ленте постоянно контактирует с этой пластиной. Вторым отрицательным электродом являются стенки ванны. Искровые разряды распространяются по обеим сторонам от оси конвейерной ленты к бортам удлиненной волны. При соответствующей скорости движения конвейера в зависимости от мощности питающей силовой установки происходит полное разделение компонентов материала. Освобожденный от примесей материал либо пустая порода попадает в приемный бункер, откуда выдается наружу элеватором. Коллоид, образовавшийся при этом, непрерывно удаляется из ванны через трубопровод. Материал, подлежащий обогащению, должен загружаться в ванну разделения измельченным. Расход жидкости в ванне пополняется по трубопроводам, которые размещены по бортам ванны, откуда через отверстия жидкость выбрасывается тонкими струями, взбалтывая образующийся коллоид [2].

Еще одним примером применения электрогидравлического эффекта при обработке горных пород стало создание электрогидравлических устройств для активации и регенерации горных пород, с помощью которых обрабатывались и активировались известь, глина, гипс, расщеплялись асбест, графит и другие горные породы.

Кроме того, известно использование электрогидравлического эффекта в сейсмической разведке, так как он является идеальным источником мощных сейсмических и акустических импульсов, возникающих в окружающей разряд или тепловой взрыв взрывающегося теплового элемента жидкости [8]. С помощью электрогидравлических устройств можно получать обычные волны, поверхностные волны, волны Релея. Сейсмические и акустические импульсы, отраженные от геологических напластований, затем воспринимаются акустическими и сейсмическими устройствами и фиксируются на экране радиолокатора. При этом по шкале дальностей судят о глубине залегания данного пласта, а по амплитуде

отраженного импульса делают оценку плотности отразившего импульс пласта, предварительно зная величину затухания импульса в пластах вышележащих пород. Известна конструкция электрогидравлического геолокатора, выполненного в виде массивного сферического отражателя с введенными в него разрядниками в изоляторах, с постоянным или регулируемым искровым промежутком между ними [8]. К тыльной стороне отражателя крепится тормозной диск гидротормоза с подвесной серьгой. Зеркалу локатора можно придавать любое положение в пространстве. Для торможения силы отдачи и увеличения полезной работы излучателя в нужном направлении кумулятивное устройство снабжено тормозной пластиной-диском, играющей роль гидравлического тормоза. Вращением излучающего устройства геолокатора можно достигнуть «кругового обзора» нижележащих напластований. В качестве ванны для помещения излучателя геолокатора используют естественный водоем или неглубокую буровую, заполненную водой.

Высокий коэффициент полезного действия электрогидравлического эффекта, универсальные возможности электрогидравлического воздействия и в дальнейшем будут являться основой для широкого применения электрогидравлического эффекта в горном деле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 105011 СССР, МПК В21J 5/04, В21D 26/14. Способ получения высоких и сверхвысоких давлений / Л.А. Юткин, Л.И. Гольцова. – Заявл. 15.04.1950, № 416898, опубл. 1957. Бюл. № 1.
2. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. 253 с.
3. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в горном деле // Строительные материалы, изделия и конструкции, 1955. № 9. С. 13-15.
4. А.с. 100876 СССР, МПК E21B 7/15. Способ бурения шпуров и скважин и устройство для его осуществления / Л.А. Юткин, Л.И. Гольцова. – Заявл. 16.01.1952, № 9898/450089; опубл. 1955. Бюл. № 6.
5. А.с. 118436 СССР, МПК E21B 7/18, E21B 4/16, E21B 7/15. Электрогидравлический бур для бурения скважин / Л.А. Юткин, Л.И. Гольцова. – Заявл. 12.11.1957, № 586039/22; опубл. 1959. Бюл. № 5.
6. Пат. 2385417 РФ, МПК E21C 37/18. Электрогидравлический способ разрушения и дробления твердых материалов / Д.Р. Ганин, А.А. Паныхев. – Заявл. 08.05.2008; № 2008118585/03; опубл. 27.03.2010. Бюл. № 9.
7. Пат. 2380161 РФ, МПК B02C 19/00, F42B 1/02. Устройство электрогидравлическое кумулятивное для разрушения и дробления твердых материалов / Д.Р. Ганин, А.А. Паныхев. –

Заявл. 23.05.2008; № 2008120793/03; опубл. 27.01.2010. Бюл. № 3.

8. А.с. 106338 СССР, МПК G01V 1/157. Способ возбуждения упругих волн в толще земной коры при сейсмической разведке / Л.А. Юткин, Л.И. Гольцова. – Заявл. 13.07.1953, № 2721/454782; опубл. 1957. Бюл. № 5.

СЕКЦИЯ №3 «ГОРНОЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»

УДК 621.926.3

ОПЫТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В ПРИВОДЕ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ

Белов Н.В., Груздова О.А., Бородин М.Б.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «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. Целью опытных испытаний принципиально нового предохранительного гидромеханического устройства с дифференциальным передаточным механизмом является проверка функциональной работоспособности механизма и оценка адекватности результатов теоретических исследований. В данной работе представлены результаты опытных испытаний, доказавшие работоспособность спроектированной предохранительной системы и адекватность теоретических исследований. Полученные результаты будут использованы в дальнейшей работе по снижению отказов и увеличению межремонтного периода конусных дробилок.

Ключевые слова: конусная дробилка; дробление руды; предохранительное устройство; динамические нагрузки; привод.

EXPERIMENTAL TESTING OF A HYDROMECHANICAL SAFETY DEVICE IN A CONE CRUSHER DRIVE

Belov N.V., Gruzдова O.A., Borodina M.B.

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS», Russia, Stary Oskol, microdistrict them. Makarenko, 42, tomm_sti_misis@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 ext. 240

Abstract. The purpose of experimental testing of a fundamentally new safety hydromechanical device with a differential transmission mechanism is to test the functional performance of the mechanism and assess the adequacy of the results of theoretical studies. This paper presents the results of experimental tests that proved the efficiency of the designed safety system and the adequacy of theoretical studies. The results obtained will be used in further work to reduce failures and increase the overhaul period of cone crushers.

Keywords: cone crusher; ore crushing; safety device; dynamic loads; drive.

На этапе экспериментальных исследований были поставлены следующие задачи:

1) создать опытный образец предохранительного устройства с дифференциальным зубчатым передаточным механизмом и установить на испытательное оборудование; 2) оценить нагрузки в приводе дробилки, возникающие при дроблении материала, путём измерения тока электродвигателя; 3) установить опытный образец в привод дробилки и проверить его функциональную работоспособность; 4) определить ток электродвигателя при дроблении с установленным в приводе предохранительным устройством; 5) проанализировать полученные результаты и сравнить их с результатами теоретических исследований.

В рамках проведения работ совместно с предприятием ООО «ПромМашКомплект» был спроектирован и изготовлен опытный образец (рис. 1) предохранительного устройства с зубчатым дифференциальным механизмом.



Рис. 1 – Опытный образец

В качестве передаточного устройства выбран дифференциал ведущего моста автомобиля КАМАЗ. В гидросистему установлен аксиально-плунжерный гидромотор 3102.112.

Экспериментальные испытания опытного образца разрабатываемого предохранительного устройства проводились на оборудовании дробильно-сортировочной установки – конусной дробилке КСД-1200 на предприятии ООО «ПромМашКомплект». После

установки опытного образца в привод конусной дробилки (рис. 2) был проведён пуск и визуальная оценка работоспособности предохранительного устройства.



Рис. 2 – Опытные испытания

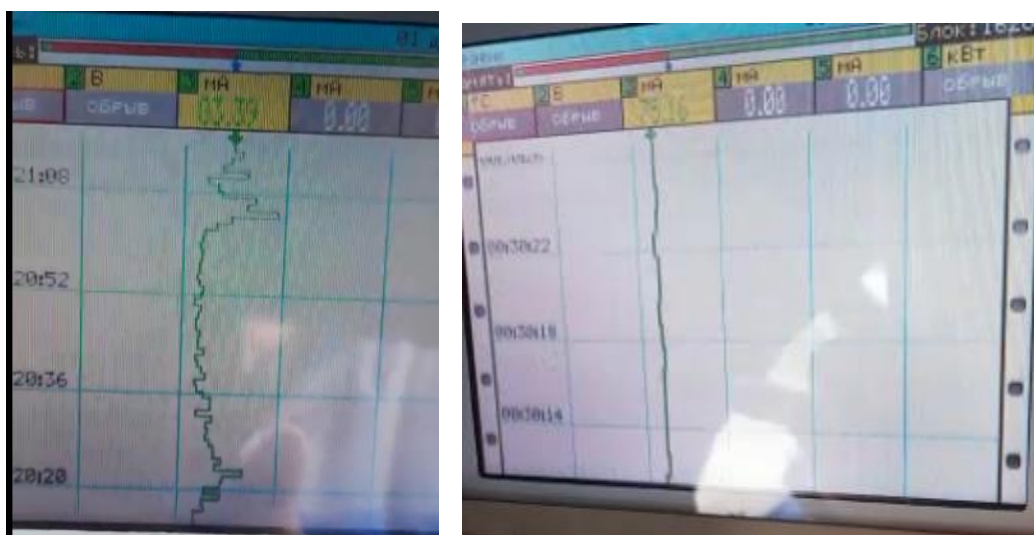
Для регистрации результатов экспериментов устанавливается измерительное устройство – регистратор многоканальный технологический РМТ 69L, используемое для регистрации изменения силы тока двигателя (рис.3).



Рис. 3 – Установка регистратора многоканального технологического РМТ 69L

До установки предохранительного устройства была проведена настройка параметров измерительного устройства РМТ 69L и проведён помол щебня фракции 0...80 мм. В процессе помола измерялись колебания тока, возникающие в процессе работы конусной дробилки. Результаты экспериментальных исследований (рис. 4, а) показали, что в процессе дробления возникают кратковременные нагрузки высокой интенсивности, вследствие которых ток двигателя превышает номинальное значение в 150 А. Что говорит о кратковременных перегрузках.

После установки предохранительного устройства и проверки его работоспособности снова проведён помол щебня фракции 0...80 мм. Получили график изменения тока двигателя (рис. 4, б). Сравнение графиков изменения тока электродвигателя до и после установки предохранительного устройства, полученных в результате экспериментальных исследований показало, что предохранительное устройство снижает амплитуду динамических нагрузок, возникающих в процессе дробления, в 3-4 раза.



а)

б)

Рис. 4 – Экспериментальные графики изменения тока в приводе: а – до установки предохранительного устройства в привод, б – с предохранительным устройством в приводе

Сравнение зависимостей, полученных экспериментально и теоретически, подтверждает адекватность математической модели.

Выводы

В результате проведения опытных испытаний было установлено:

- опытный образец подтверждает работоспособность новой конструкции муфты;

- предохранительное устройство эффективно снижает негативное воздействие кратковременных высокоинтенсивных нагрузок в 3-4 раза (теоретически действие пиковых нагрузок на привод с исследуемым устройством снижается в 3 раза по отношению к приводу без него);

- характер полученных в результате опытных испытаний значений тока электродвигателя подтверждает результаты теоретических исследований.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ МАЯТНИКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКОЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

Владимиров А.А., Макаров А.В., Шаповалов А.И., Титова А.П., Жулдыбин А.А.

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.** Статья посвящена перспективам применения низкочастотных колебаний для финишной обработки поверхностей деталей после электроискрового легирования в защитных средах. Представлена схема траектории тангенциальных колебаний инструмента. Представлена схема расчета значений двух составляющих низкочастотных тангенциальных колебаний. Представлены графические модели поверхностей, полученных при моделировании выглаживания с применением тангенциальных колебаний. В результате исследования были изучены микротвердость электроискровых покрытий, процесс поверхностного пластического деформирования выглаживанием на электроискровых покрытиях, шероховатости поверхности покрытий до и после выглаживания.*

Ключевые слова: электроискровое легирование выглаживание; тангенциальные колебания; амплитуда; частота; микрогеометрия поверхности; микрорельеф; СВС-электродные материалы; износостойкость; микрогеометрия поверхности; твердый сплав; микротвердость; термостойкость; поверхностное пластическое деформирование; шероховатость поверхности.

PROSPECTS FOR APPLICATION OF LOW-FREQUENCY PENDULUM OSCILLATIONS FOR SURFACE FINISHING AFTER ELECTRIC SPARK ALLOYING

Vladimirov A.A., Makarov A.V., Shapovalov A.I., Titova A.P., Zhuldybin A.A.

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

***Abstract.** The article is devoted to the prospects for the use of low-frequency vibrations for finishing the surfaces of parts after electrosark alloying in protective environments. A diagram of the trajectory of tangential vibrations of the tool is presented. A scheme for calculating the values of two components of low-frequency tangential oscillations is presented. Graphical models of surfaces obtained by modeling smoothing using tangential vibrations are presented. As a result of the study,*

the microhardness of electrospark coatings, the process of surface plastic deformation by burnishing on spark coatings, and the surface roughness of coatings before and after burnishing were studied.

Keywords: electrospark alloying, burnishing, tangential oscillations, amplitude, frequency, surface microgeometry, microrelief, SHS-electrode materials, wear resistance, surface microgeometry, hard alloy, microhardness, heat resistance, surface plastic deformation, surface roughness.

Введение

Развитие машиностроения в настоящее время предъявляет высокие требования к эксплуатационным характеристикам рабочих поверхностей деталей машин. Выполнение таких требований обуславливает применение дорогостоящих материалов, которые в свою очередь, усложняют технологический процесс механической обработки поверхностей из таких материалов. Отдельного внимания заслуживают прогрессивные ресурсо- и энергосберегающие технологические процессы восстановления и поверхностного упрочнения рабочих поверхностей деталей машин. Одним из таких технологических процессов является электроискровое легирование поверхностей фасонным электродом с применением защитных газообразных сред. Механическая обработка таких поверхностей (шлифование, доводка, выглаживание и т.д.) имеет свои особенности, которые обуславливают разработку как самой технологии, так и оборудования.

Для обеспечения технической возможности механической обработки возникает необходимость разработки методологии управления свойствами и характеристиками формируемых электроискровых покрытий в сочетании с физико-механическими свойствами упрочняемого материала детали, режимами технологии упрочнения покрытия.

Таким образом, проблема создания технологии окончательной обработки электроискровых покрытий для повышения эксплуатационных характеристик поверхностей деталей машин, является актуальной.

Технология выглаживания электроискровых покрытий

Метод электроискрового легирования основан на явлении электрической эрозии и полярного переноса материала анода (электрода) на катод (деталь) при протекании импульсных разрядов в газовой среде. В процессе электроискрового легирования происходит сближение электродов: анода и катода. При сближении между электродами увеличивается напряженность электрического тока и возникает импульсный искровой разряд. Через возникший канал сквозной проводимости пучок электронов фокусируется и ударяется о твердую металлическую поверхность анода. Энергия движения остановленных электронов выделяется в поверхностных слоях анода. В связи с тем, что в данный момент система броском

освобождает накопленную энергию, плотность тока значительно превосходит критические значения. В результате этого воздействия от анода отделяется капля расплавленного металла, которая движется к катоду, опережая движущийся вслед анод. Расплавленные частицы, достигнув катода, свариваются с ним и частично внедряются в его поверхность. Далее, при механическом контакте электродов, частицы свариваются между собой, одновременно прогревая тонкий слой поверхности катода, на котором они расположены. Механический удар анода «проковывает» полученное покрытие, чем значительно увеличивает его однородность и плотность. После механического контакта, анод, под действием вибрации, «отрывается от катода», при этом на поверхности катода остается сформированное покрытие.

К достоинствам технологии электроискрового легирования относятся высокая адгезия сформированных покрытий, относительная простота метода и оборудования, высокая экологичность и низкая энергоемкость процесса. К недостаткам метода, сдерживающим его широкое применение, относятся низкая производительность обработки, высокая шероховатость сформированных покрытий, ограниченность толщины сформированных покрытий.

При повышенных требованиях к микрогеометрии рабочих поверхностей деталей, упрочненных методом электроискрового легирования, шероховатость поверхности является в ряде случаев недостаточной. В связи с чем, необходимо добиваться снижения шероховатости поверхностей, подвергшихся электроискровому упрочнению.

Шероховатость покрытий зависит от состава применяемых электродных материалов, частотно-энергетических режимов и времени обработки, от типа рабочего инструмента, а также рельефа обрабатываемой поверхности.

Для снижения шероховатости электроискровые покрытия подвергают финишным операциям – шлифованию (полированию), поверхностному пластическому деформированию (ППД) (выглаживание, безабразивная ультразвуковая финишная обработка (БУФО)), притирке, лазерной обработке и т.д. Применение дополнительных операций усложняет и удорожает технологический процесс электроискрового упрочнения изделий, так как необходима дополнительная потребность в новом оборудовании, оснастке, квалифицированных кадрах. Кроме этого, не все перечисленные операции будут эффективными при обработке покрытий, нанесенных твердыми сплавами.

Большинство методов механической обработки не применимы для снижения шероховатости ЭИЛ-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 было решено применить один из видов ППД – выглаживание с помощью твердосплавного индентора. Данный способ ранее использовали

для снижения шероховатости ЭИЛ-покрытий на титане.

Целью данной работы являлась отработка режимов выглаживания электроискровых покрытий, сформированных на стали 9ХС, а также изучение рельефа и свойств покрытий до и после ППД.

Поверхностное пластическое деформирование выглаживанием проводили на токарно-винторезном станке JET GHB-1340A DRO сферическим выглаживателем с радиусом при вершине $r = 6$ мм, из вольфрамо-кобальтового твердого сплава с твердостью $HV = 1340$ кгс/мм² на следующих режимах: частота вращения заготовки $n = 70$ об/мин, продольная подача выглаживателя $S = 0,05$ мм/об, сила давления выглаживателя на обрабатываемую поверхность $P = 600$ Н. Силу давления выглаживателя регулировали по диаграмме нагружения пружины, путем перемещения поперечного суппорта деформировали пружину на величину, необходимую для получения требуемой силы давления выглаживателя.

Общий вид экспериментальной установки для ППД представлен на рисунке 1.

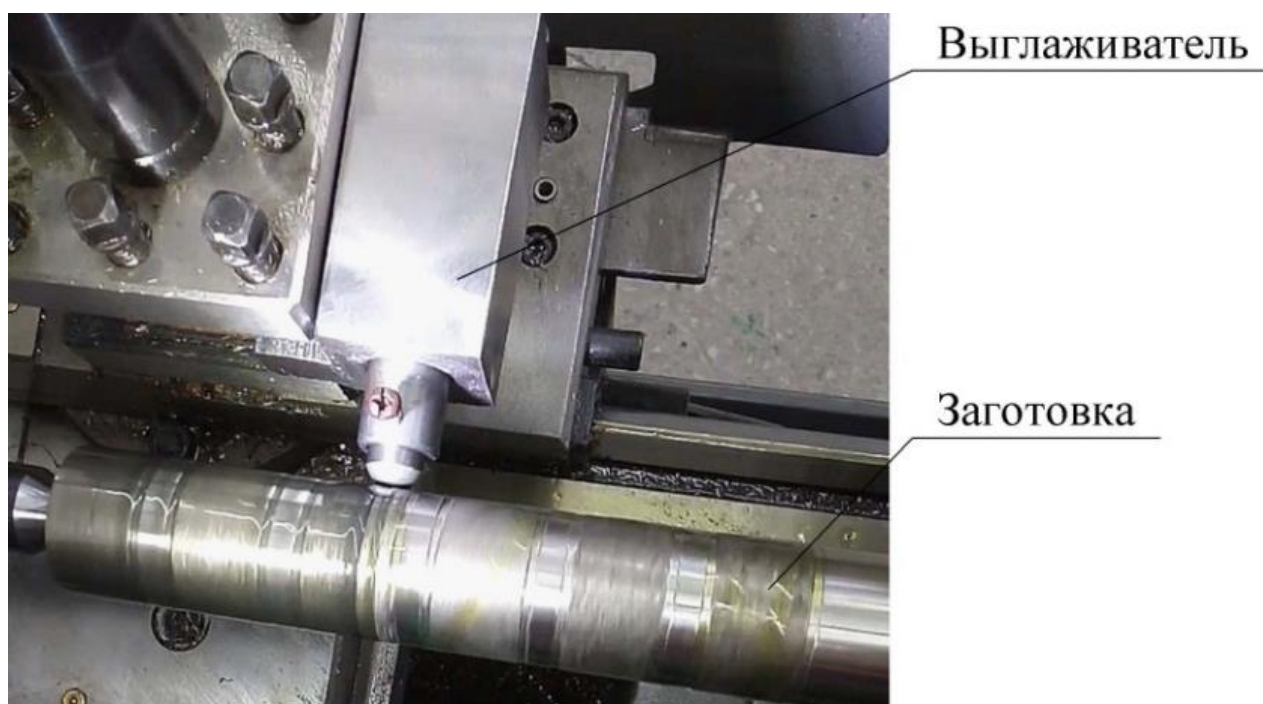


Рис. 1 – Экспериментальная приставка для финишной обработки

Исследования микротвердости образцов с электроискровыми покрытиями до и после выглаживания проводились на микротвердомере работающем по методу микро-Виккерса МЕТОЛАБ 502 при нагрузке 100 г по ГОСТ Р ИСО 6507-1.

Шероховатость сформированных покрытий определяли измерителем шероховатости TR200. Базовая длина для оценки шероховатости составляла 2,5 мм (фактическая длина измерения шероховатости составила $5l_6 = 12,5$ мм).

Оценку сплошности ($C_{обр}$, %) нанесенных покрытий осуществляли по формуле (1):

$$C_{обр} = \frac{\sum F_{изм}}{F_{общ}} \quad (1)$$

где $\sum F_{изм}$ – площадь участка поверхности с электроискровым покрытием, мм²;

$F_{общ}$ – общая площадь обработки, мм².

Твердость электроискровых покрытий

Покрытий, полученные после электроискрового легирования поверхности образцов характеризовались микротвердостью до 1000 кгс/мм². Значения микротвердости образцов до и после выглаживания представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерения микротвердости покрытия до и после выглаживания

Материал	Состояние поверхности	Микротвердость* HV 0,1, кгс/мм ²						Среднее значение HV 0,1, кгс/мм ²
		Номер измерения						
		1	2	3	4	5	6	
СТИМ-11	до	921,4	961,3	824,4	781,5	867,2	793,6	858,2
	после	958,2	1070,5	626,1	780,0	794,9	1021,8	875,3
СТИМ-40НА	до	829,7	799,8	795,6	923,1	838,4	874,6	843,5
	после	626,2	845,7	966,0	903,3	858,1	1024,8	870,3

Стоит отметить, что диаметр заготовки после поверхностного пластического деформирования выглаживанием уменьшился на 0,1 мм. Такое явление объясняется тем, что в результате проведения поверхностного пластического деформирования выглаживанием, фрагменты покрытия частично деформируются и вдавливаются в более мягкую подложку, а некоторая часть частиц разрушается и удаляется. Состояние поверхности электроискрового покрытия до и после выглаживания представлены на рисунке 2.

После выглаживания микротвердость покрытий увеличилась и составила, соответственно 875,3 кгс/мм² для покрытия из электродного материала СТИМ-11 и 870,3 кгс/мм² для покрытия из СТИМ-40НА.

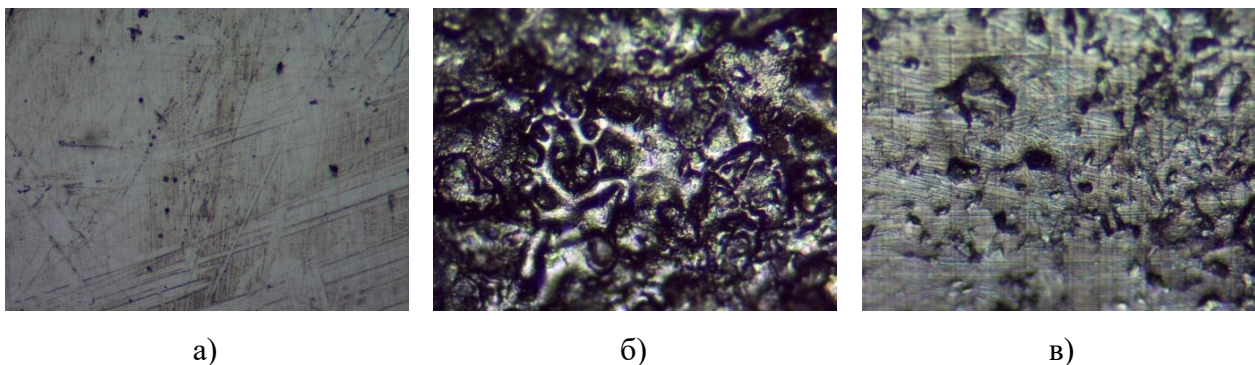


Рис. 2 – Состояние поверхности образцов СТИМ-40 (увеличение $\times 100$):
а – образец без покрытия; б – образец с ЭИЛ-покрытием; в – образец с ЭИЛ-покрытием
после выглаживания

Шероховатость поверхности образцов с электроискровым покрытием

В таблице 2 представлены результаты измерения шероховатости поверхностного слоя до и после поверхностного пластического деформирования выглаживанием.

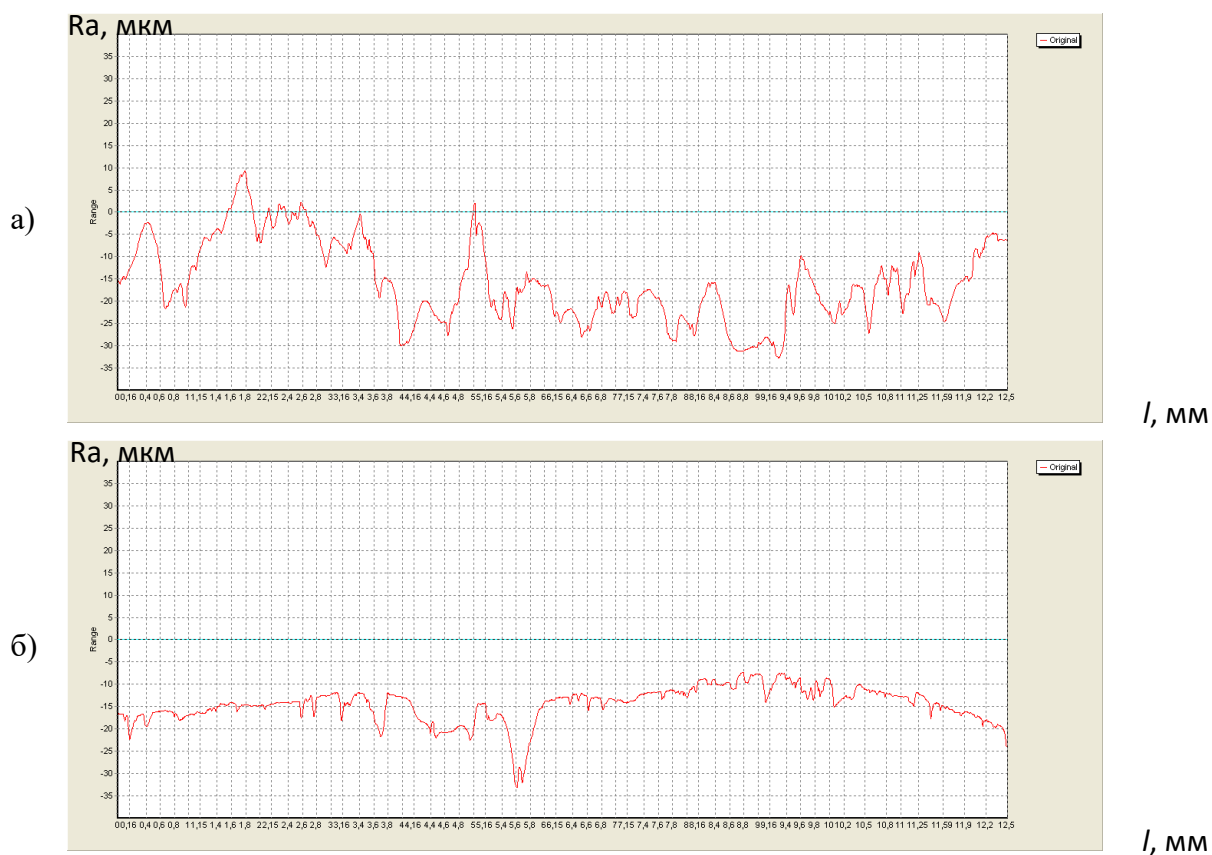
Таблица 2 – Шероховатость поверхностного слоя до и после выглаживания

Материал	Состояние поверхности	Шероховатость Ra, мкм						Среднее значение Ra, мкм
		Номер измерения						
		1	2	3	4	5	6	
СТИМ-11	до	8,98	10,54	9,40	9,08	10,63	9,24	9,65
	после	1,55	1,84	1,70	1,78	1,74	1,67	1,71
СТИМ-40НА	до	4,49	4,92	4,66	5,20	5,42	4,79	4,91
	после	2,80	1,66	1,70	1,84	1,858	1,68	1,92

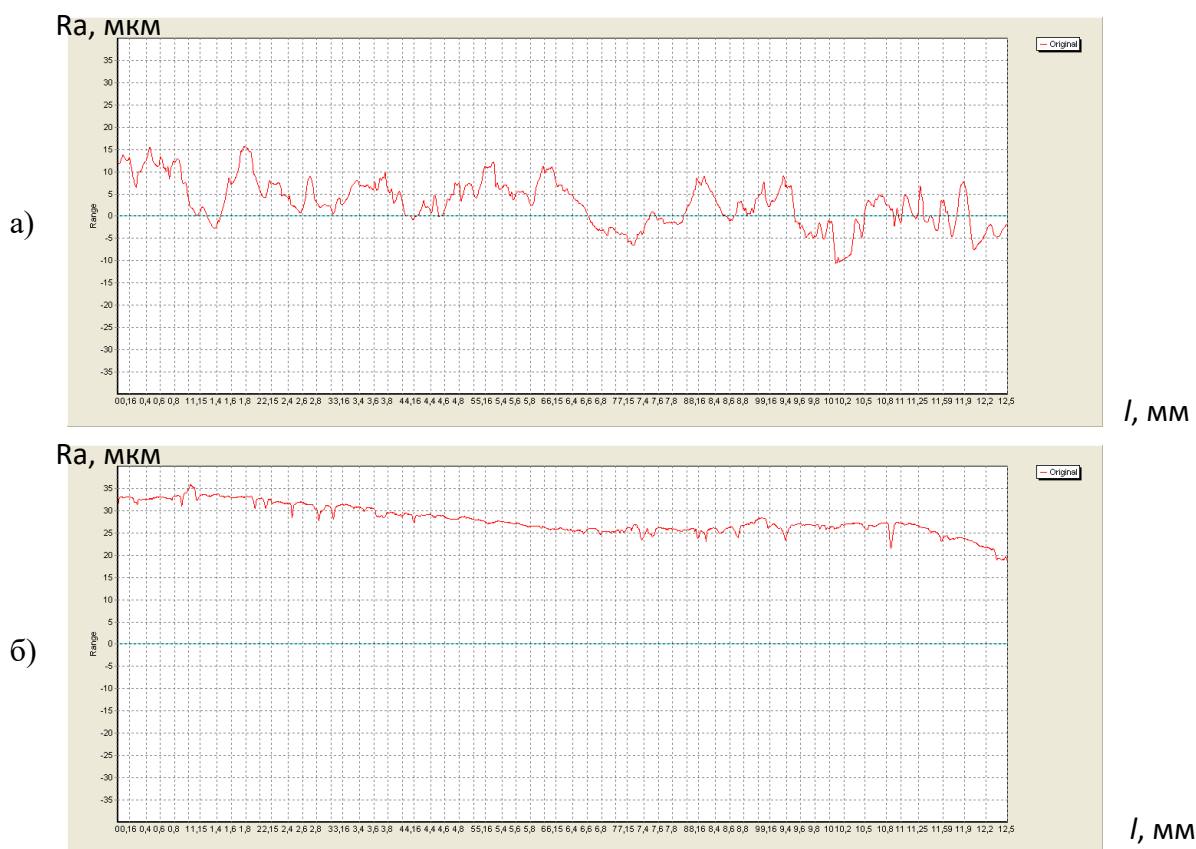
Выявлено, что покрытия на основе карбида титана характеризуются меньшей шероховатостью (параметр Ra) по сравнению с покрытием на основе диборида титана.

Применение поверхностного пластического деформирования выглаживанием способствует снижению шероховатости поверхностного слоя (параметр Ra) в 3-5 раз. После проведения поверхностного пластического деформирования выглаживанием минимальной шероховатостью характеризуется покрытие из СТИМ-11 ($Ra=1,71$ мкм).

Профилограммы шероховатости поверхностного слоя электроискровых покрытий, полученных при обработке СВС-сплавами СТИМ-11 и СТИМ-40НА до и после поверхностного пластического деформирования выглаживанием приведены, соответственно, на рисунках 3 и 4.



а – до выглаживания; б – после выглаживания



а – до выглаживания; б – после выглаживания

Перспективы применения низкочастотных колебаний для выравнивания электроискровых покрытий

Известно, что формирование на поверхности деталей регулярного микрорельефа является эффективным способом повышения их эксплуатационных свойств. Традиционная технология формирования такого микрорельефа заключается в вибрационной обработке ППД с сообщением деформирующему инструменту радиальных или осевых колебаний рисунке 5. Однако, данная технология не всегда позволяет получать требуемую с точки зрения эксплуатации форму микрорельефа. Известно, что своеобразная форма микрорельефа может быть получена на поверхности с помощью маятниковых колебаний инструмента. В связи с этим, представляется целесообразным разработать технологию выравнивания с наложением на инструмент маятниковых колебаний.



Рис. 5 – Формирование регулярного микрорельефа осевыми колебаниями деформирующего инструмента

Гармонические колебания выравнивателя маятникового типа могут быть разложены на две составляющие: нормальную A_r и тангенциальную A_t рисунок 6. Амплитуда тангенциальных колебаний A_t при этом значительно превышает амплитуду нормальных A_r .

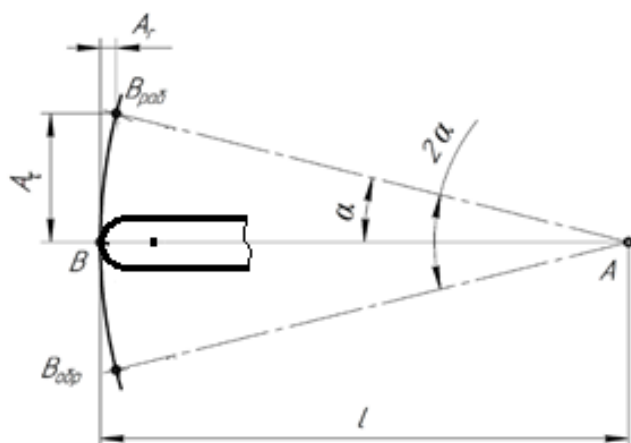


Рис. 6 – Схема маятниковых колебаний вершины выравнивателя

Форма микронеровностей, формируемых на поверхности при выглаживании с наложением на инструмент маятниковых колебаний, будет зависеть от геометрии инструмента и заготовки, амплитуды и частоты колебаний, скорости главного движения и движения подачи, величины радиального обжатия. Их форма будет иметь сложный трехмерный характер, в связи с чем аналитически описать ее практически невозможно.

Исследовать форму формируемых микронеровностей можно с помощью 3D моделирования кинематики движения выглаживателя. 3D моделирование предлагаемого технологического процесса осуществлялось в CAD системе трехмерного моделирования КОМПАС 3D. Моделирование производилось по следующей методике:

1) Относительно цилиндрической поверхности заготовки строится спираль радиусом, равным вылету выглаживателя, с учетом радиального обжатия выглаживателя. Шаг и направление вращения спирали выбирается исходя из скорости подачи и скорости главного движения.

2) В рабочей плоскости, проходящей через ось вращения заготовки и ось выглаживателя, строится эскиз, имеющий форму окружности (рабочей части выглаживателя).

3) С помощью операции вращения строится поверхность, формируемая при перемещении инструмента за одно маятниковое колебание.

4) Построенная фигура вырезается из модели заготовки, формируя на ней неровность, выдавленную за одно колебание выглаживателя.

5) Исходя из соотношения частоты колебаний выглаживателя и частоты вращения заготовки, создается массив вырезанных элементов вдоль всей длины спирали.

Высоту волны выдавленного из впадины металла при моделировании не учитывали в силу ее малого влияния на форму микронеровностей при выглаживании.

Результаты моделирования представлены на рисунке 7. Из приведенных результатов очевидно, что с помощью предлагаемой технологии может быть получен регулярный микрорельеф различной формы. Регулировать форму микронеровностей в широких пределах можно, изменяя подачу, амплитуду и частоту колебаний и радиальные обжатия заготовки. Получаемые при этом микронеровности могут выступать в качестве масляных карманов, существенно повышая износостойкость поверхности.

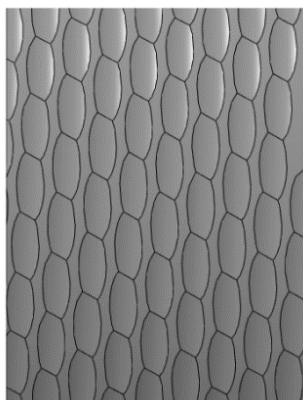
Минимальной высота микронеровностей будет, когда количество колебаний выглаживателя на один оборот заготовки будет кратно определенному целому значению, то есть

$$\frac{f}{n} = \text{int}, \quad (2)$$

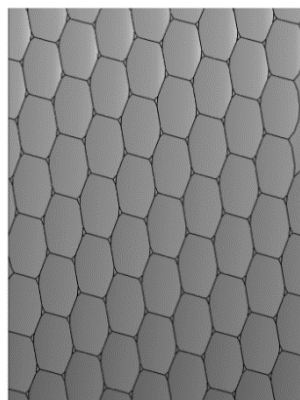
где f – частота колебаний выглаживателя, Гц;

n – частота вращения заготовки, с⁻¹;

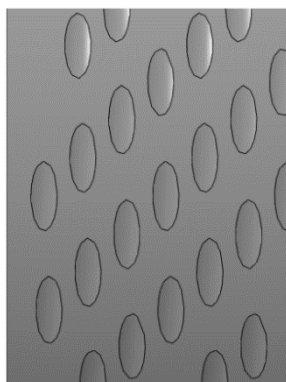
int – целое число, характеризующее число колебаний инструмента на один оборот заготовки.



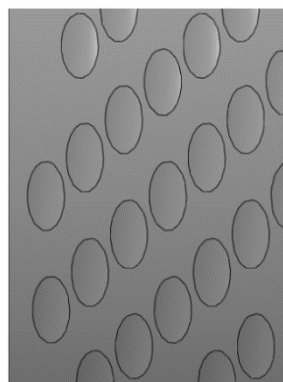
$A = 50 \text{ мкм}, f = 80 \text{ Гц}$
 $t = 0,1 \text{ мм}; R = 2,5 \text{ мм}$



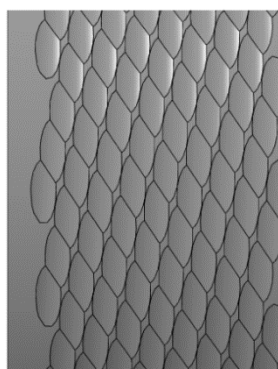
$A = 50 \text{ мкм}, f = 80 \text{ Гц}$
 $t = 0,2 \text{ мм}; R = 5 \text{ мм}$



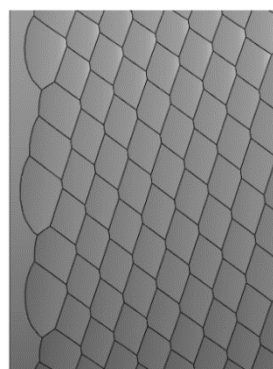
$A = 50 \text{ мкм}, f = 20 \text{ Гц}$
 $t = 0,1 \text{ мм}; R = 2,5 \text{ мм}$



$A = 50 \text{ мкм}, f = 20 \text{ Гц}$
 $t = 0,2 \text{ мм}; R = 5 \text{ мм}$



$A = 30 \text{ мкм}, f = 80 \text{ Гц}$
 $t = 0,1 \text{ мм}; R = 2,5 \text{ мм}$



$A = 30 \text{ мкм}, f = 80 \text{ Гц}$
 $t = 0,2 \text{ мм}; R = 5 \text{ мм}$

Рис. 7 – Микронеровности, формируемые на поверхности цилиндрических заготовок, при выглаживании с маятниковыми колебаниями инструмента при различных амплитудах A , частотах f , радиальных обжатиях t и радиусах выглаживателя R

Для практической реализации предлагаемой технологии необходимо проведение дальнейших исследований:

- исследовании физических основ тангенциальных колебаний инструмента на формирование микрогеометрии поверхности;
- исследование соотношения амплитудно-частотных характеристик тангенциальных колебаний и кинематических параметров движения обрабатываемой детали;
- исследование возможности применения тангенциальных колебаний для формообразования микрогеометрии поверхности при операциях механической обработки и поверхностного пластического деформирования выглаживанием.

Заключение

В результате проведенных исследований по разработке комплексной технологии электроискрового легирования в защитных средах и последующей финишной обработки были сформулированы выводы и поставлены дальнейшие задачи исследований.

1. Выявлено, что применение поверхностного пластического деформирования выглаживанием способствует снижению шероховатости поверхностных слоев от 2,6 раза (СТИМ-40НА) до 5,6 раз (СТИМ-11). Максимальное уменьшение шероховатости установлено у более твердого покрытия.

2. В результате поверхностного пластического деформирования выглаживанием микротвердость поверхностных слоев увеличивается, соответственно до 875,3 кгс/мм² для покрытия на основе диборида титана и до 870,3 кгс/мм² для покрытия на основе карбида титана.

3. Продемонстрирована возможность использования поверхностного пластического деформирования выглаживанием для упрочнения фасонных поверхностей деталей с целью увеличения износостойкости.

4. Сформулированы перспективы применения низкочастотных колебаний для финишной обработкой поверхностей после электроискрового легирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» рамках договора (соглашения) № 15283ГУ/2020 от 14 июня 2020 г. о предоставлении гранта на выполнение научно-исследовательских работ и оценку перспектив коммерческого использования результатов в рамках реализации инновационного проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Revisiting the tangential oscillations of the tool to form the microrelief of the workpiece surface / A. Vladimirov, A. Afonin, A. Makarov, A. Titova // *Vibroengineering Procedia*: 46, Nonlinear Dynamics and Chaos in Engineering Applications, St. Petersburg, 29 июня – 01 2020 года. – St. Petersburg, 2020. – P. 1-5. – DOI 10.21595/vp.2020.21361.
2. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании. Владивосток: Дальнаука, 1995. 323.
3. Владимиров А.А., Афонин А.Н., Макаров А.В., Кабулова Е.Г. Формирование регулярного микрорельефа на поверхности деталей выглаживанием с наложением низкочастотных маятниковых колебаний // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2020. – № 6 (344). – С. 45 – 50. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-344-6-45-50
4. Владимиров А.А., Афонин А.Н., Макаров А.В., Назарова М.Ю. Геометрическая модель шероховатости при точении с маятниковыми колебаниями резца // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2019. – № 4-1 (336). – С. 15 – 19.
5. Гадалов В.Н., Алехин Ю.Г., Скрипкина Ю.В., Бредихина О.А., Абашкин Р.Е., Винокуров О.В. Электроискровые покрытия, подвергнутые выглаживанию минералокерамикой // *Технология машиностроения*. 2008. №11. С. 19 – 23.
6. Каримов Р.Р., Владимиров А.А., Макаров А.В. Обработка поверхностей ролика привалковой арматуры прокатного стана электроискровым легированием // *Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. С. 83.*
7. Киричек А.В., Афонин А.Н., Иванов К.В. Геометрическое моделирование процессов обработки давлением с локальным контактом инструмента и заготовки // *Кузнечно-штамповочное производство*. - 2004. – № 9. – С. 21 – 25.
8. Коротаев Д.Н., Иванова Е.В. Оптимизация режимов упрочнения и эксплуатации стальных поверхностей трения после электроискрового легирования // *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2009. № 1. С. 39 – 42.
9. Коротаев Д.Н., Машков Ю.К. Технологические возможности управления износостойкостью поверхностей трения при электроискровом легировании // *Омский научный вестник*. 2006. № 10. С. 71 – 74.
10. 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.

11. Кудряшов А.Е., Замулаева Е.И., Левашов Е.А., Кирюханцев-Корнеев Ф.В., Шевейко 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.

12. 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.

13. Кудряшов А.Е., Левашов Е.А., Репников Н.И., Макаров А.В. Перспективы применения технологии электроискрового легированного и СВС-электродных материалов для повышения стойкости прокатных валков // Нанотехнологии: наука и производство. 2018. № 2. С. 63 – 66.

14. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Курбаткина В.В., Максимов Ю.М., Юхвид В.И. Перспективные материалы и технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. М.: Изд. Дом МИСиС, 2011. 377 с.

15. Макаров А. В., Титова А. П., Афонин А. Н., Кудряшов А. Е., Владимиров А. А. Перспективы применения поверхностного пластического деформирования для снижения шероховатости поверхностей деталей прокатных станов, упрочненных СВС-электродными материалами // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. №. 8. С. 4-12. DOI: <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2020-8-4-12>

16. Сергиев А.П., Владимиров А.А., Макаров А.В., Швачкин Е.Г. Физические основы процесса вибрационного резания при точении // Научно-теоретический журнал Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – №3. – С. 94-102.

17. Титова А.П., Макаров А.В., Владимиров А.А. Выглаживание электроискровых СВС-электродных покрытий на поверхностях деталей прокатных станов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии. Материалы Международной научно-технической конференции. Редколлегия: М.Е. Лустенков [и др.]. 2020. С. 71 – 72.

18. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. 2-е изд. Л.: Машиностроение, 1982. – 248 с., ил.

ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КРАНОВЫХ КОЛЕС И ПОДКРАНОВЫХ РЕЛЬСОВ

Еремеев И.А.

*Новотроицкий филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», ул. Фрунзе, 8,
Новотроицк, Оренбургская обл., 462359
eremeev.i@list.ru, 89010871125*

***Аннотация.** В статье рассматриваются возможные направления повышения долговечности крановых колес и подкрановых рельсов. Данная проблема является особенно актуальной для металлургических предприятий. Рассмотрены различные способы повышения долговечности крановых колес и подкрановых рельсов, в том числе изобретения ходовых крановых колес со съемными ребордами, а также применение смазывающих устройств и стержней.*

Ключевые слова: мостовой кран; подкрановый рельс; реборда колеса; смазка; износ; долговечность.

POSSIBLE DIRECTIONS FOR INCREASING THE DURABILITY OF CRANE WHEELS AND SUB-CRANE RAILS

Yeremeyev I.A.

*Novotroitsk branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS", Frunze str., 8, Novotroitsk, Orenburg region, 462359
eremeev.i@list.ru, 89010871125*

***Abstract.** The article discusses possible directions for increasing the durability of crane wheels and cranerails. This problem is especially relevant for metallurgical enterprises. Various methods of increasing the durability of crane wheels and cranerails are considered, including the invention of traveling crane wheels with removable flanges, as well as the use of lubricating devices and rods.*

Keywords: overhead crane; crane rail; wheel flange; lubrication; wear; durability.

Для металлургических предприятий актуальна проблема повышения долговечности крановых колес и подкрановых рельсов, так как мостовые краны на этих предприятиях

эксплуатируются в условиях повышенной температуры, запыленности и загазованности[1]. На предприятиях имеют место многочисленные преждевременные отказы системы «колеса мостового крана – подкрановый путь»: до 90% крановых колес заменяют по причине износа и развальцовки реборд, а до 70% подкрановых рельсов заменяют из-за износа боковых граней [2].

Широко известны способы повышения долговечности крановых колес и подкрановых рельс, реализуемые выбором рационального по износостойкости материала колес и вида их термической обработки, заменой штампованной заготовки колес катанной, использованием колес конического профиля, изменением профиля реборды, проведением мероприятий с целью снижения значений и времени действия приложенных к ходовым колесам и в целом к крановой системе поперечных сил [3]. В многочисленных изобретениях ходовых крановых колес со съемными ребордами (Рис. 1), изнашиваемые боковины можно отвинтить и поставить на их место новые [4-8].

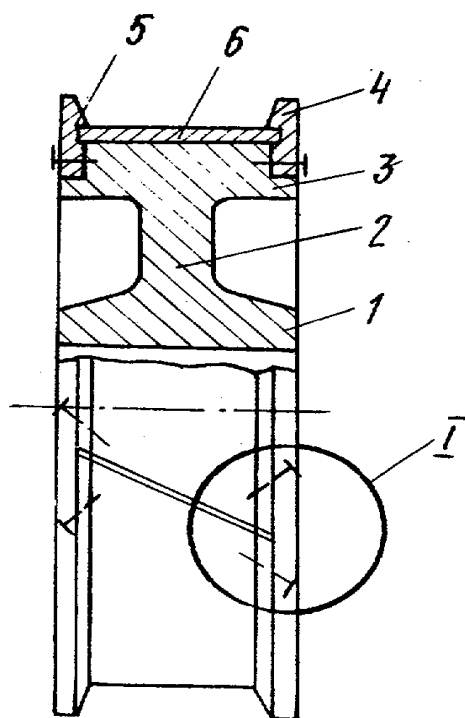


Рис. 1 – Крановое колесо [4]:

1-ступица; 2-диск; 3-обод; 4-отъемные реборды;
5-кольцевая канавка;6-стальная лента

Изготовление и замена съемных реборд требует затрат денег и времени, радикально не решает проблему повышения долговечности крановых колес и подкрановых рельс. Такие изобретения редко используются на практике.

При контакте рельса и колеса существует комбинированное трение качения и трение скольжения. Трение качения возникает при высоких циклически изменяющихся контактных напряжениях во время качения колеса, а трение скольжения - при его постоянном и поперечном скольжении, поэтому нужна смазка боковых поверхностей реборд колеса и рельса для снижения трения и уменьшения их износа [1].

Известно огромное количество систем для смазки пары трения «реборда колеса – рельс» [1, 9-11], в которых применяются жидкие, твердые, консистентные смазки. Для нанесения на реборды колес жидких смазочных материалов необходимы форсунки, бак, насос, шланги, а также определенная квалификация обслуживающего и ремонтирующего их персонала [12]. Жидкие смазочные материалы обладают более низкой, в сравнении с другими видами смазки, нагрузочной способностью, но более высокой стоимостью. Для нанесения на реборды колес твердых смазок необходимы дорогие смазочные карандаши с постоянным расходом материала. Пластичные смазки также дороги, их вязкость сильно зависит от температуры окружающей среды.

В связи с этим заслуживает внимание опыт применения в качестве системы для смазки пары трения «колесо-рельс» смазывающих устройств и стержней производства ООО «Интелл Росс» (г. Екатеринбург) (Рис. 2), позволяющих использовать в составе смазочных карандашей жидкую, твердую, консистентную фазы смазок, а также ревитализанты, металлокерамику и т.д. [12-14]. Применение смазывающих составов производства ООО «Интелл Росс» с использованием устройств для подачи смазывающих стержней на парах трения «колесо-рельс» электромостовых кранов № 3, 4, 8, 9 плавильного цеха № 1 АО «Актюбинский завод ферросплавов» позволило: снизить интенсивность износа колес кранов и подкрановых рельсов; уменьшить нагрузки на подкрановые балки и колонны; сократить затраты на приобретение и замену крановых колес и подкрановых рельсов; снизить затраты на рихтовку подкрановых рельсов и балок; снизить потребление электроэнергии мостовыми кранами на 5%; сократить внеплановые простои мостовых кранов [1].



Рис. 2 – Гребнесмазыватели с композитными смазывающими стержнями на холостом колесе мостового крана [1]

Применение смазывающих составов производства ООО «Интелл Росс» с использованием устройств для подачи смазывающих стержней на парах трения «колесо-рельс» электромостовых кранов № 3, 4, 8, 9 плавильного цеха № 1 АО «Актюбинский завод ферросплавов» позволило: снизить интенсивность износа колес кранов и подкрановых рельсов; уменьшить нагрузки на подкрановые балки и колонны; сократить затраты на приобретение и замену крановых колес и подкрановых рельсов; снизить затраты на рихтовку подкрановых рельсов и балок; снизить потребление электроэнергии мостовыми кранами на 5%; сократить внеплановые простои мостовых кранов [1].

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что оптимальным решением проблемы повышения долговечности крановых колес и подкрановых рельсов является применение смазывающих составов производства ООО «Интелл Росс» с использованием устройств для подачи смазывающих стержней на парах трения «колесо-рельс».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еркинбайулы Е., Ганин Д.Р., Алтаева А.К. Повышение долговечности крановых колес и подкрановых рельсов в условиях АО «Актюбинский завод ферросплавов» // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2020. Т. 76. № 9. С. 955-959.
2. Шабашов А.П., Лысяков А.Г. Мостовые краны общего назначения. - М.: Машиностроение, 1980 - 304 с.

3. Лобов Н.А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути. – М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 232 с.
4. А. с. 901240 СССР, МКИ³В66С 9/08. Крановое колесо / А.П. Яценко. - № 2852211/29-11; заявл. 13.12.1979; опубл. 30.01.1982, Бюл. № 4.
5. А. с. 1341148 СССР, МКИ⁴В66С 9/08. Крановое колесо / А.В. Голенищев. - № 3883889/27-11; заявл. 15.04.1985; опубл. 30.09.1987, Бюл. № 36.
6. А. с. 1414755 СССР, МКИ⁴В66С 9/08. Крановое колесо / Р.Н. Яхнин. - № 4016931/27-11; заявл. 30.01.1986; опубл. 07.08.1988, Бюл. № 29.
7. А. с. 1652283 СССР, МКИ⁵В66С 9/08. Крановое колесо / А.В. Голенищев, В.Г. Васильев, М.В. Нелюбин. - № 4633583/11; заявл. 09.11.1989; опубл. 30.05.1991, Бюл. № 20.
8. А. с. 1664721 СССР, МКИ⁵В66С 9/08. Крановое колесо / И.В. Михеев, И.Г. Бурунов. - № 4662004/11; заявл. 15.03.1989; опубл. 23.07.1991, Бюл. № 27.
9. А. с. 1303473 СССР, МКИ⁴В61К 3/02. Устройство для смазки реборд кранового колеса / А.С. Линник, С.А. Гапоненко, Е.А. Линник. - № 3602783/27-11; заявл. 06.06.1983; опубл. 15.04.1987, Бюл. № 14.
10. А. с. 1782831 СССР, МКИ⁵В61К 3/02. Устройство для смазывания реборды кранового колеса / А.П. Нестеров, Б.М. Кивенсон. - № 4820320/11; заявл. 28.04.1990; опубл. 23.12.1992, Бюл. № 47.
11. Пат. 2057667 Российской Федерации, МПК В61К 3/00. Устройство для смазывания железнодорожного рельса / Й. Сабо, А. Балог, Е. Вашархельи, И. Глатц. - № 4613578/11; заявл. 21.06.1988; опубл. 10.04.1996.
12. Назаров А.В. Новое направление в борьбе с износом реборд колес и боковых поверхностей рельс // MetalRussia.2018. № 3. - С. 28-30.
13. Пат. 2298502 Российской Федерации, МПК В61К 3/02. Устройство для нанесения смазочного покрытия / А.В. Назаров. - № 2005131137/11; заявл. 07.10.2005; опубл. 10.05.2007, Бюл. № 13.
14. Пат. 2301168 Российской Федерации, МПК В61К 3/02, В61F 17/34. Устройство для подачи смазочного стержня / А.В. Назаров. - № 2005133290/11; заявл. 28.10.2005; опубл. 20.06.2007, Бюл. № 17.

АНАЛИЗ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОСАДКИ ВЫСОКИХ ОБРАЗЦОВ

Таупек И.М.¹, Положенцев К.А.²

¹ *Электростальский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»,
Россия, г. Электросталь*

² *АО «Металлургический завод «Электросталь» , Россия, г. Электросталь
wert8608@mail.ru, paulozentsev@mail.ru*

Аннотация. *Приведены результаты конечно-элементного моделирования процесса осадки высокой цилиндрической заготовки.*

Ключевые слова: ковка, САПР; моделирование; метод конечных элементов; МКЭ.

ANALYSIS OF FINITE ELEMENT MODELING OF THE UPSETTING OF HIGH BILLETS

Taupek I.M.¹, Polozhentsev K.A.²

¹ *Elektrostal Institute, Russia, Elektrostal*

² *"Metallurgical Plant "Electrostal" JSC, Elektrostal*

Abstract. *The results of finite element modeling of the upsetting process of a high cylindrical billet.*

Keywords: forging; CAD; CAM; simulation; finite element method; FEM.

Распределение деформаций в объёме заготовки, возникающее в процессе осадки, играет важную роль в формировании необходимых потребительских качеств готовых изделий. В условиях протекания реального процесса анализ состояния металла затруднён и часто просто невозможен, а проведение многочисленных физических экспериментов затруднено как по временным, так и по финансовым причинам. Поэтому в настоящее время при исследовании процессов ОМД всё большее внимание отдаётся различным способам моделирования, которые позволяют провести необходимые исследования за сравнительно малое время и получить при этом необходимые для анализа данные. Одними из наиболее распространенных являются численные методы моделирования, в частности метод конечных элементов. При его применении одной из возникающих проблем является достоверность получаемых результатов.

Для проверки адекватности получаемых результатов было произведено моделирование горячей осадки цилиндра со следующими размерами: диаметр 800 мм, высота 3000 мм, т.е. соотношение $H_0/D_0 = 3,75$ ($D_0/H_0 = 0,27$). Моделирование производилось в программном комплексе Simufact Forming [1]. Встроенная база данных материалов не содержит обширного сортамента отечественных марок сталей, поэтому заготовке были присвоены реологические свойства стали С45 (немецкий аналог отечественной стали 45), температура заготовки на момент начала деформации была равномерна по всему сечению и составляла 1200°С. Для описания сил трения, использовался закон Амонтона–Кулона, коэффициент трения составлял 0,3. Скорость перемещения верхней плиты была постоянной и составляла 50 мм/сек. Заготовка осаживалась до высоты 500 мм, при которой степень относительной деформации составила 83,3%.

Согласно данным из литературных источников [2,3] при осадке высоких образцов в их объёме образуются различные зоны распределения деформаций, показанные на рис. 1.

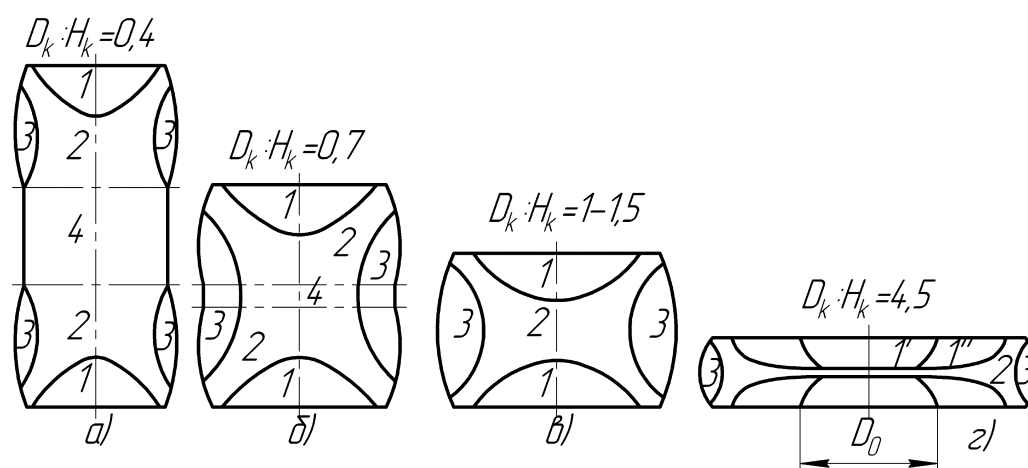


Рис. 1 – Форма зон в объёме осаживаемого высокого цилиндрического образца

Из рисунка видно, что к рабочему инструменту примыкают области затруднённой деформации 1, переходящие в зоны локализованной деформации 2, в которых действуют максимальные тангенциальные напряжения под углом 45° к вертикальной оси образца. На боковых поверхностях в верхней и нижней частях заготовки возникают зоны 3, с растягивающими напряжениями. В центре заготовки образуется зона 4 с равномерным распределением наиболее высоких значений деформации (рис. 1а). В начальной стадии процесса происходит двойное бочкообразование, которое исчезает при продолжении процесса. При этом происходит слияние двух зон 3 в одну, а также переход зоны 4 в поверхностных слоях металла в 3, которая теперь остаётся единственной кольцевой зоной (рис. 1б). Далее зона 4 полностью поглощается зонами 2, которые после объединения

образуют общую, имеющую крестообразную форму (рис. 1в). При дальнейшей осадке наблюдается развитие зон 1, которые до этого не претерпевали значительных изменений: значения деформаций в них были гораздо ниже, чем в других зонах. В финальной стадии процесса зоны 1 разделяются на 1', в которой значения деформаций так и остаются крайне небольшими и, окружающей её, 1'', с более высокими значениями, также в эту область частично перемещается и зона 3, уже имеющая более высокие (по сравнению с 1') значения деформаций (рис. 1г).

Описанные области при реальной осадке не имеют резко очерченных границ и, в свою очередь, также характеризуются внутренней неравномерностью деформации [4].

Распределение интенсивности деформаций в сечении заготовки при моделировании осадки показано на рис. 2. Значения в процентах под изображениями показывают степень относительной деформации. Для большей наглядности была выбрана шкала с резким цветовым переходом от одного значения к другому, позволяющая наблюдать образование и развитие различных зон.

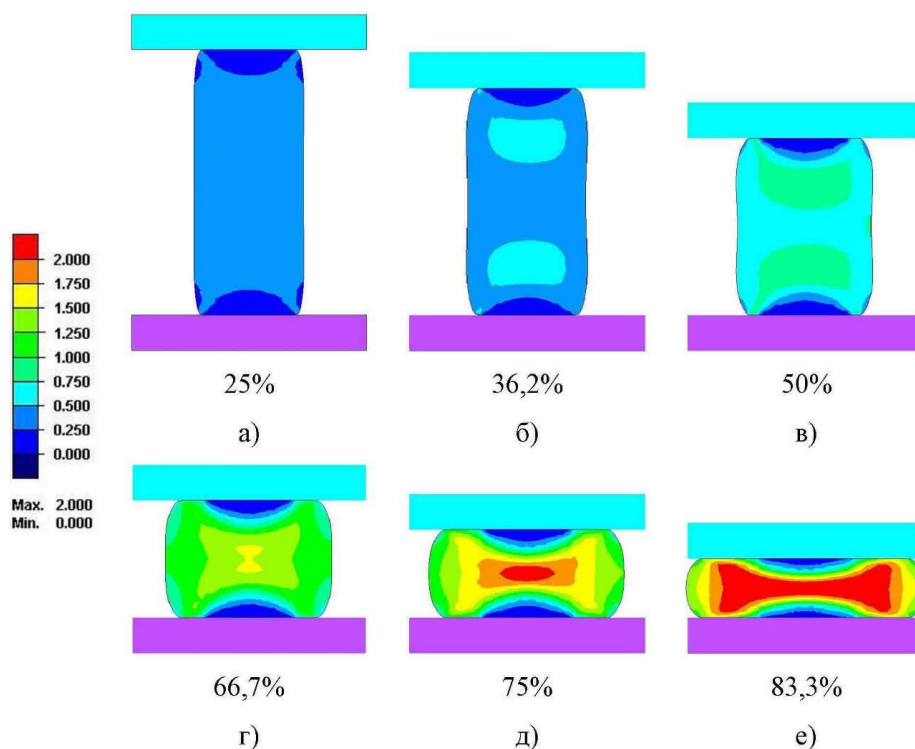


Рис. 2 – Распределение интенсивности деформаций при осадке первого образца

Полученные результаты совпадают с описанными в литературных источниках [2,3]: непосредственно под осадочными плитами происходит образование как зон затруднённой деформации, так и кольцевых зон (рис. 2а). При этом происходит двойное бочкообразование, которое сопровождается развитием двух выраженных очагов деформации в верхней и нижней

частях заготовки под зонами затруднённой деформации (рис. 2б и 2в). При дальнейшей осадке происходит их соприкосновение (рис. 2г), с последующим слиянием и развитием получившегося общего очага в центральной области заготовки, что вызывает распространение повышенных значений деформации преимущественно в радиальном направлении (рис. 2д и 2е). Образовавшаяся область оказывается сплюснута сверху и снизу зонами затруднённой деформации, которые, по сути, выступают в роли продолжения осадочных плит.

Боковые области имеют более низкие значения деформаций, т.к. при осадке они не контактировали ни с рабочим инструментом, ни с зонами затруднённой деформации, а перемещение их внешней поверхности не было чем-либо ограничено, т.е. не испытывало внешнего давления и происходило при свободном течении металла.

На протяжении большей части процесса величина зон затруднённой деформации изменяется мало. Лишь при больших степенях деформации (более 75–80%) происходит расслоение зон на центральную часть с минимальными значениями деформаций и окружающую её область с более высокими значениями (полученными, в том числе, и путём перехода в них металла с боковой поверхности заготовки), причём данное расслоение наблюдается преимущественно в вертикальном направлении. Уменьшению зон в горизонтальном направлении препятствуют силы контактного трения, которые также являются причиной появления данных областей. После окончания осадки непосредственного соединения зон затруднённой деформации не происходит: между ними остаётся прослойка металла с максимальными значениями деформаций.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что осесимметричное напряжённо-деформационное состояние заготовки при осадке позволило с высокой точностью описать течение металла при моделировании и, как следствие, получить качественную сходимость полученных результатов с данными реальных процессов. Это позволяет использовать данную методику моделирования для дальнейшего анализа процессов обработки металлов давлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таупек И.М. Совершенствование технологических процессовковки валов на основе компьютерного моделирования. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». Москва, 2017 г. 192 с.
2. Технология кузнечно-штамповочного производства. Охрименко Я.М. М. Машиностроение, 1966. 601с.

3. Теория процессовковки. Охрименко Я.М., Тюрин В.А. Учеб. Пособие для вузов. М., «Высш. школа», 1977. 295 с.

4. Тюрин В.А., Мохов А.И. Теория обработки металлов давлением: Учебник для вузов / Под ред. проф. В.А. Тюрина. Волгоград: РПК «Политехник», 2000.

ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИИ НА РАБОТУ НАСОСОВ ШАХТНОГО ВОДООТЛИВА ПРИ ПУСКЕ

Малеев В.Б., Кудрявцев А.А.

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Донецкий национальный технический университет»

83050, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, ул. Артема, 96, к.3.216, тел.: (062) 3010339;

e-mail: teormeh@fimm.donntu.org

Аннотация. В работе рассмотрено влияние разворота насоса по кривой пропорциональности, соответствующей режиму максимального КПД, и при полностью закрытой задвижке на напорном трубопроводе. Динамическая характеристика насоса представлена в виде $H = f\left(Q, \omega, \frac{dQ}{dt}, \frac{d\omega}{dt}\right)$, ограничиваясь первыми производными от параметров подачи Q и угловой скорости ω . Определено время запуска насоса шахтного водоотлива в работу.

Ключевые слова: шахтный водоотлив; насос; стационарный режим; пусковой режим; разворот насоса; кавитация; динамическая характеристика.

EFFECT OF CAVITATION ON PUMP OPERATION MINE WATER DRAINAGE AT START-UP

Maleev V.B., Kudrjavzev A.A.

Donetsk National Technical University

83050, Donetsk People's Republic, Donetsk, Artem Street, 96, of .3.216, tel.: (062) 3010339;

e-mail: teormeh@fimm.donntu.org

Abstract. The paper considers the influence effect of the pump turning along the proportionality curve, which corresponds to the highest efficiency mode with a completely closed damper on the pressure pipeline. The pump dynamic characteristic is presented by the following form: $H = f\left(Q, \omega, \frac{dQ}{dt}, \frac{d\omega}{dt}\right)$, which is limited by the first derivatives of the feed parameter Q and the angular velocity parameter ω . It is determined the mine drainage pump start time.

Keywords: mine water drainage; pump; stationary mode; starting mode; pump turning; cavitation; dynamic characteristic.

При нормальной работе насоса шахтного водоотлива в стационарном режиме минимальное абсолютное давление, возникающее в потоке в области входа в колесо, больше давления насыщенного пара перекачиваемой жидкости. Этот избыточный напор всасывания представляет собой запас энергии потока шахтной воды над энергией вскипания. В противном случае жидкость «вскипает», возникает явление кавитации, что резко изменяет напорную характеристику насоса. Запас энергии обуславливается определённым полем скорости на входе в рабочее колесо и потерями энергии в элементах всасывающего тракта. В отличие от стационарного режима работы центробежного насоса, при нестационарном режиме на его всасывающем тракте появляется дополнительный инерционный напор. Это может уменьшить запас энергии потока жидкости на входе в рабочее колесо и привести к кавитации, хотя в стационарном режиме она не наблюдается. Очевидно, как и в стационарном режиме, кавитация повлияет на параметры насоса и в переходном процессе. При этом напор насоса в таких режимах уменьшается в 5...10 раз по сравнению со стационарным значением при том же расходе. Фактически дальнейшее рассмотрение кавитации относится не к собственной динамической характеристике насоса, а к совместной характеристике двух составляющих: насоса и его всасывающего тракта, в котором происходит кавитация [1]. Но поскольку жидкость кавитирует не только в конце трубопровода, но и во входной области рабочего колеса, то сам насос также изменяет свои характеристики. В этом режиме сложно выделить характеристики отдельных элементов, находящихся в области кавитации.

Целью данного исследования является изучение режима работы насоса шахтного водоотлива, для которого напор является функцией времени, и, следовательно, характеристика насоса может быть представлена как зависимость его напора H от подачи Q , угловой скорости ω вращения ротора машины и времени t , т.е. $H = f(Q, \omega, t)$.

Нестационарность работы центробежного насоса может быть обусловлена изменением угловой скорости ω рабочего колеса или изменением подачи жидкости Q . Поэтому наиболее удобно представлять динамическую характеристику центробежного насоса в виде

$$H = f\left(Q, \omega, \frac{dQ}{dt}, \frac{d\omega}{dt}\right), \text{ ограничиваясь первыми производными от параметров } Q \text{ и } \omega.$$

Рассмотрим аналитическую связь запаздывания подачи насоса при наличии кавитации от времени переходного процесса.

При пуске центробежного насоса возникают переходные процессы, которые имеют важное значение для эксплуатации насосов и систем автоматического управления. Вопросам пуска и остановки насосов шахтного водоотлива посвящено много работ [1-4]. В настоящей работе рассматривается переходный процесс при запуске насоса, который вызывает

запаздывание подачи при наличии кавитации во всасывающей системе в динамическом режиме. Будем считать, что насос и его всасывающая система предварительно заполнены водой, подсосы воздуха во время запуска отсутствуют. Поэтому определение параметров переходных режимов работы насосной установки сводится к рассмотрению характеристик насоса и сети в переходном режиме.

Проанализируем запуск насоса на сосредоточенное сопротивление, находящееся в непосредственной близости от насоса. В этом случае характеристика гидравлического сопротивления a в уравнении сети $H_C = a \cdot Q^2$ не зависит от времени. Возмущения в гидравлическую систему во время переходного процесса вносятся нарастающей частотой вращения $n(t)$ рабочего колеса насоса. Временную зависимость $n(t)$ можно определить, решив уравнение

$$\frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} = M_D - M_C. \quad (1)$$

Здесь $\frac{GD^2}{375}$ – маховый момент всех вращающихся частей насосного агрегата (ротора);

M_D – момент, развиваемый электродвигателем; M_C – момент сопротивления на валу электродвигателя.

Момент сопротивления M_C складывается из момента M_N , пропорционального мощности, сообщённой электродвигателем жидкости.

$$M_N = \frac{2\pi \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{102 \cdot n} \quad (2)$$

и момента, пропорционального потерям мощности, который можно получить по значению M_N через КПД η насосной установки

$$M_{\Delta N} = M_N - \frac{1-\eta}{\eta} \cdot M_N. \quad (3)$$

В этих формулах: ρ – плотность транспортируемой жидкости; g – ускорение свободного падения; Q и H – соответственно подача и напор насоса.

Анализируя вышеприведенные уравнения, можно видеть, что гидравлический режим насоса влияет на характер зависимости $n(t)$. Следовательно, разворот электродвигателя

определяет рабочий режим насоса, а последний, в свою очередь, влияет на характер разворота $n(t)$.

Приращение частоты вращения $\frac{dn}{dt}$ в соответствии с уравнением (1) пропорционально разности моментов $\Delta M = M_D - M_C$.

Момент, развиваемый двигателем, можно определить по его механической характеристике $M_D(S)$. Момент сопротивления во время разворота насоса можно определить по кривым пропорциональности, считая запуск квазистационарным и сделав допущение, что КПД насосного агрегата не зависит от частоты вращения его ротора. Тогда, выразив M_C в виде функции от скольжения электродвигателя S , получим

$$M_C = M_{C_{ном}} \cdot \left(\frac{1-S}{1-S_{ном}} \right)^2, \quad (4)$$

где $M_{C_{ном}}$ - номинальный момент сопротивления при установившемся режиме; $S_{ном}$ - скольжение двигателя, соответствующее номинальному режиму.

Механические характеристики электродвигателя и насоса изображены на рисунке 1.

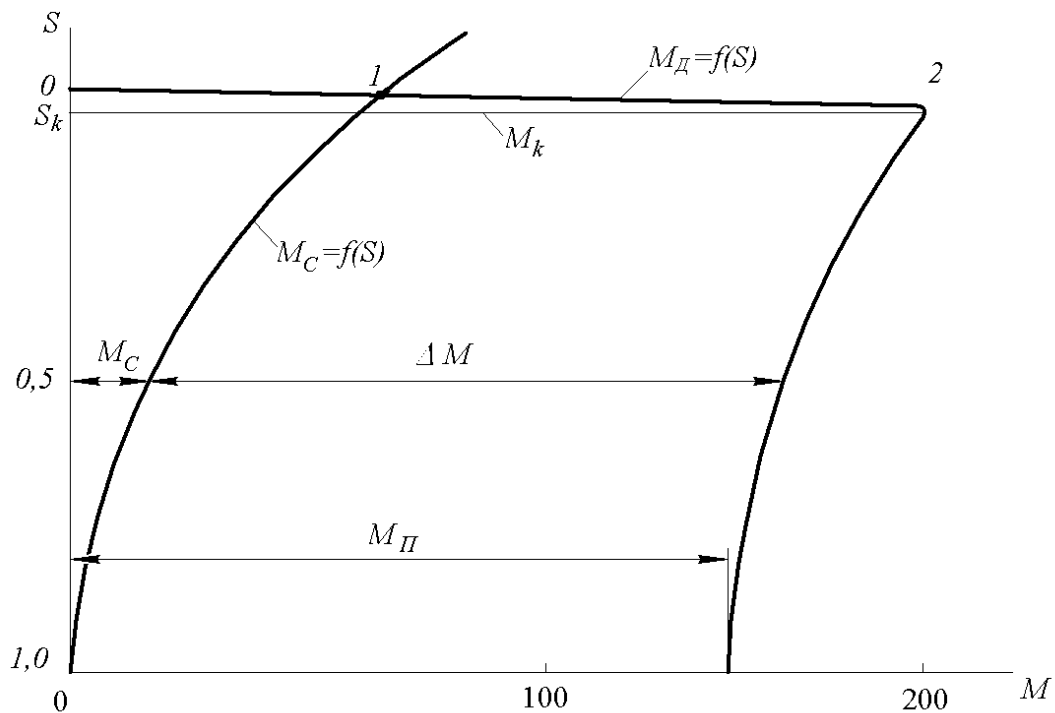


Рис. 1 – Механические характеристики насоса и приводного электродвигателя

Из рисунка видно, что благодаря определённому характеру механической характеристики электродвигателя, превышение момента M_D над M_C , равное ΔM , вплоть до критического скольжения S_K остаётся примерно неизменным и значительно превышающим M_C . Так как критическое скольжение для большинства короткозамкнутых асинхронных электродвигателей соответствует $(0,92 \dots 0,96)n_H$, то можно считать, что всё время разгона M_D превышает M_C , что и приводит к незначительному влиянию отклонения M_C на характер зависимости $n(t)$.

Количественная оценка этого утверждения возможна для двух резко отличающихся режимов работы насосной установки:

1. Разворот насоса происходит по кривой пропорциональности, соответствующей расчётному режиму работы гидромашины, т.е. режиму максимального КПД.
2. Разворот насоса происходит при полностью закрытой задвижке на напорном трубопроводе $Q = 0$.

Для получения решения аппроксимируем механическую характеристику двигателя на участке $1 \leq S \leq S_K$ параболой.

Выразив характеристику $M_D(S)$ в виде $M_D(n)$, получим

$$M_D = M_{II} + \frac{M_K - M_{II}}{n_K^2} \cdot n^2. \quad (5)$$

Здесь: M_{II} , M_K - соответственно пусковой и критический моменты, развиваемые электродвигателем.

Так как $n_K \approx n_H$, то уравнение (4) можно выразить в виде

$$M_C = M_{CH} \cdot \frac{n}{n_H^2}. \quad (6)$$

Введём безразмерные параметры

$$\bar{M}_{II} = \frac{M_{II}}{M_K}, \quad \bar{M}_C = \frac{M_C}{M_K}, \quad \bar{n} = \frac{n}{n_H}.$$

Тогда, с учётом безразмерных параметров и уравнений (4) и (5), уравнение (1) примет вид

$$\frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_H}{M_K} \cdot \frac{d\bar{n}}{dt} = (1 - \bar{M}_\Pi - \bar{M}_C) \cdot \bar{n}^2 + \bar{M}_\Pi^2. \quad (7)$$

Решение этого уравнения с учётом начальных условий $\bar{n} = 0$ и для случая разворота насоса в расчётных режимах, определяем время запуска T_P в виде

$$(T_P)_0 = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_H}{M_K} \cdot \frac{1}{\sqrt{\bar{M}_\Pi + \bar{M}_{C0} - 1}} \cdot \operatorname{arth} \sqrt{\frac{\bar{M}_\Pi + \bar{M}_{C0} - 1}{\bar{M}_\Pi}}. \quad (8)$$

При $Q = 0$ имеем

$$(T_P)_{Q=0} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_H}{M_K} \cdot \frac{1}{\sqrt{-\bar{M}_\Pi - \bar{M}_{C0} + 1}} \cdot \operatorname{arth} \sqrt{\frac{-\bar{M}_\Pi - \bar{M}_{C0} + 1}{\bar{M}_\Pi}}. \quad (9)$$

Для насоса ЦНС 300х600 и приводного двигателя ВАО 2-560 LA 4 параметры $\bar{M}_\Pi$, $\bar{M}_C$ составляют: $\bar{M}_\Pi = 0,732$, $\bar{M}_{CQ} = 0,138$, $\bar{M}_{C0} = 0,414$. Подставляя эти значения в уравнения (8) и (9), получим следующие зависимости:

$$(T_P)_0 = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_H}{M_K} \cdot 1,46,$$

$$(T_P)_{Q=0} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_H}{M_K} \cdot 1,3.$$

Отношение их составляет

$$\frac{(T_P)_0}{(T_P)_{Q=0}} = 1,12.$$

$$\text{В процентном отношении } \Delta T = \frac{1,46 - 1,3}{1,46} \cdot 100 = 11 \, \%.$$

Из вышеприведенного следует, что столь значительное различие рабочих режимов приводит к малому изменению времени запуска насоса ЦНС 300х600, при этом запуск считается квазистационарным. В действительности во время запуска возможно возникновение кавитации в насосе и как следствие - запаздывание в достижении подачи насоса $Q(t)$. Учитывая то обстоятельство, что меньшее значение $Q(t)$, по сравнению с квазистационарным,

существует только часть времени запуска T_p и то, что это уменьшение мало влияет на T_p , будем считать время запуска не зависящим от характера гидравлического режима насоса. Экспериментальные исследования, результаты которых приведены в работе [2], подтверждают это. Целый ряд экспериментов, исследующих самые различные режимы, и проведенные как в шахтных условиях, так и в условиях лаборатории [1, 4], также подтверждают эти выводы. Результаты экспериментов показывают, что зависимость $n(t)$ с достаточной точностью можно считать линейной вплоть до $n_{ном}$. Это указывает, что на участке механической характеристики электродвигателя $1 \leq S < S_K$ значение ΔM приблизительно постоянно. Поэтому дальнейший анализ режима запуска насоса будем производить, считая зависимость $n(t)$ заданной уравнениями

$$\begin{cases} n(t) = n_H \frac{t}{T_p}, & \text{при } 0 < t \leq T_p; \\ n(t) = n_H, & \text{при } t > T_p. \end{cases}$$

Время запуска T_p определим, считая характер процесса квазистационарным, по соотношениям (8) и (9). Если бы переходный процесс протекал по квазистационарной характеристике насоса $H_H(Q, \omega)$, то зависимость $Q(t)$ можно было бы определить по кривым пропорциональности. Поскольку характеристика сети $H_c = aQ^2$ совпадает с одной из кривых пропорциональности, то для квазистационарного режима можно записать

$$Q(t) = k \cdot n(t). \quad (10)$$

Здесь k – постоянный коэффициент, определяющий зависимость подачи от частоты вращения на кривой пропорциональности.

Значение k может быть определено графоаналитическим решением системы уравнений

$$\begin{cases} H_C = aQ^2, \\ H_H = f(Q, \omega), \end{cases} \quad (11)$$

где $H_H = f(Q, \omega)$ – напорная характеристика центробежного насоса водоотлива.

Из уравнений (10) и (11) следует, что в квазистационарном режиме зависимость $Q(t)$ можно представить в виде

$$\begin{cases} Q(t) = k \cdot n_H \frac{t}{T_p}, & \text{при } 0 < t \leq T_p; \\ Q(t) = k \cdot n_H, & \text{при } t > T_p. \end{cases} \quad (12)$$

Отсюда следует, что при развороте рабочего колеса насоса водоотлива производная $\frac{dQ}{dt}$ определяется выражением

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{k \cdot n_H}{T_p} = \text{const} \text{ при } 0 < t \leq T_p. \quad (13)$$

Это уравнение следует использовать при анализе кавитационных явлений в центробежном насосе водоотлива в пусковом режиме с положительным ускорением $\frac{dQ}{dt}$.

Выведенная зависимость $\frac{dQ}{dt}$ позволяет получить динамическую характеристику насоса шахтного водоотлива и определить величину его подачи в критическом режиме с учётом запаздывания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Офенгенден Н.Е. Исследование пускового режима электродвигателя насосных установок большой мощности. ДонУГИ, Сб. №12, с.15-30, Углетехиздат, 1953.
2. Малеев В.Б. Влияние зашламляемости приёмного колодца на режим работы шахтных насосов. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Гірниче-електромеханічна». Випуск 83. – Донецьк: ДонНТУ, 2004, - с.187-191.
3. Тимошенко Г.М. Научные основы проектирования и эксплуатации насосных установок в переходных режимах – Киев, Донецк: Вища шк., Головное изд-во, 1986 – 127с.
4. Тимошенко Г.М. Уравнения переходных режимов в системе насосный агрегат - трубопровод – потребители энергии // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 1968. – Вып. 13 – с.30-37.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВЫГЛАЖИВАНИИ С НИЗКОЧАСТОТНЫМИ МАЯТНИКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ

Кудинов Е.А., Владимиров А.А., Макаров А.В., Шаповалов А.И.

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 объектом исследования является процесс вибрационной деформирующей обработки при токарных операциях. Во время проведения исследования внимание обращалось на получение результатов, приближенным к реальным условиям протекания процесса. Цель исследования заключалась в нахождении оптимальных параметров вибрационного процесса для получения различных профилей микронеровностей, увеличивающих площадь контакта поверхностей деталей пар трения.

Ключевые слова: средняя линия шероховатости; пятно контакта; выглаживание; тангенциальные маятниковые колебания; шероховатость.

MODELING OF SURFACE MICROGEOMETRY DURING BURNISHING WITH LOW-FREQUENCY PENDULUM OSCILLATIONS

Kudinov E.A., Vladimirov A.A., Makarov A.V., Shapovalov A.I.

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

microdistrict them. Makarenko, 42, tomm_sti_misis@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 ext. 240

Abstract. In the article, the object of research is the process of vibrational deforming machining during turning operations. During the study, attention was paid to obtaining results close to the real conditions of the process. The purpose of the study was to find the optimal parameters of the vibration process to obtain various microroughness profiles that increase the contact area of the surfaces of friction pair parts.

Keywords: middle line of roughness; contact patch; smoothing; tangential pendulum oscillations; roughness.

Введение

На сегодняшний день существует множество способов обработки изделий из металла. Одним из критериев обработки деталей является шероховатость обработанной поверхности, а следовательно, и ее площадь контакта. Ведь чем меньше шероховатость, тем выше площадь контакта, что сокращает время приработки изделия и начального износа поверхности в следствии её истирания [1].

Одним из ведущих методов снижения микронеровностей на поверхностях тел вращения является вибрационное ультразвуковое выглаживание или алмазное выглаживание. Суть процесса заключается в уменьшении микронеровностей пластической деформацией при помощи индентора, выступающего в роли инструмента – выглаживателя. Поверхности, полученные такими методами отличаются низкими параметрами шероховатости и высокими показателями точности.

Одним из способов решения существующей проблемы является применение новой технологии, применяющей вынужденные тангенциальные маятниковые колебания с приложением их к вершине деформирующего инструмента. Этот метод позволит получать на поверхности микронеровности, которые при оптимальных режимах способны увеличить площадь контакта без ущерба для шероховатости.

Основная часть

Ключевым отличием от аналоговых методов вибрационной обработки является создание сложной геометрии, которая нарушает микроструктуру зёрен материала, позволяя избавиться от наследственных дефектов как отдельных элементов поверхности, так и некоторых микрослоев материала. Полученные таким методом поверхности имеют сниженную среднюю линию шероховатостей, так как из-за маятникового характера колебаний происходит сбивание или деформирование максимальных вершин шероховатости и придание профилю микронеровности совершенно непривычный вид, в виде сегментов, изменяемых при помощи различных параметров процесса.

На рисунке 1 приведена поверхность, смоделированная в САПР КОМПАС-3D, приближенная к профилю реальной поверхности, которую теоретически возможно получить используя лабораторную установку с настройкой её на необходимые режимы вибрационной деформирующей обработки. Из рисунка отчётливо видно, что профиль микронеровностей действительно приобрёл сложный характер, это определяется периодическими прерываниями процесса обработки вследствие чего инструмент покидает зону деформационного воздействия на поверхности детали, что определяет характер и форму впадин. Но полученная поверхность не отвечает требуемым параметрам площади контакта поверхности.

Но если полученную поверхность обработать выглаживанием ещё два раза, то есть совершить три прохода на одинаковых режимах одни и тем же инструментом, можно увидеть следующий профиль микронеровностей, показанный на рисунке 2.

Такой профиль микронеровностей показывает насколько можно изменить микрогеометрию после предыдущих токарных обработок, избавившись от наследственных дефектов поверхности. Так как происходит не просто уменьшение неровностей, а их деформирование со значительными величинами напряжений, то предполагается что в теле вершин шероховатости происходит перераспределение напряжений и изменение структуры материала. Что обеспечит получение новой геометрии, требующей тщательного исследования.

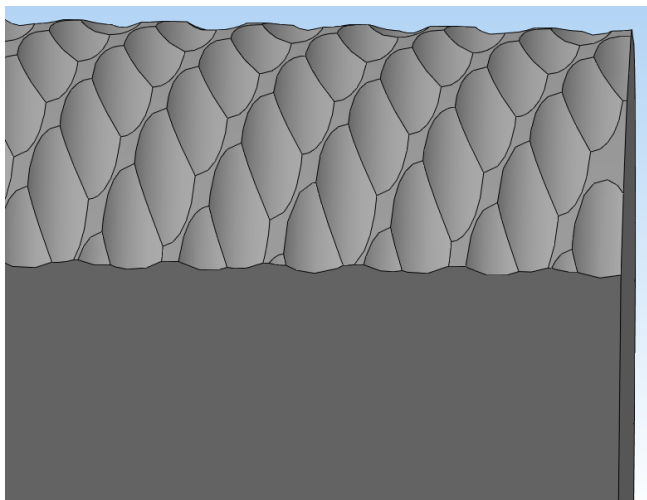


Рис. 1 – Профиль микронеровностей после вибрационного выглаживания сферическим индентором после одного прохода инструмента

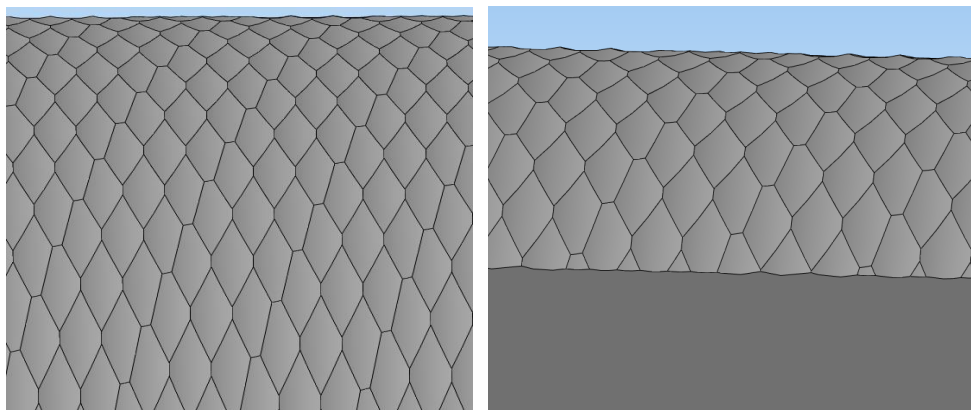


Рис. 2 – Профиль микронеровностей после вибрационного выглаживания сферическим индентором после трёх проходов инструмента

Полученные профили микронеровностей для ультразвукового выглаживания приведены на рисунке 3.

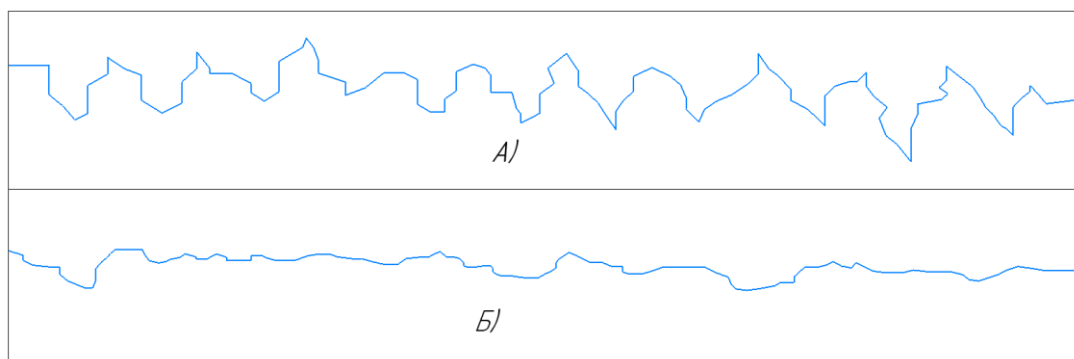


Рис. 3 – Профиль микронеровностей обработанной поверхности:

А – после тонкого точения, Б – после ультразвуковой вибрационного выравнивания

Проанализировав данные профили микронеровностей можно сделать вывод о том, что простые радиальные колебания просто уменьшают высоту неровностей на поверхности после обработки [2]. Что обеспечивает сохранение неравномерного и случайного распределения вершин и впадин шероховатости, нестабильной средней линии шероховатости. Эти факторы отрицательно сказываются на итоговой площади контакта поверхности.

Новая технология позволит получать более сложную геометрию поверхности, что обеспечивается комбинированным движением инструмента во время обработки [7]. Профиль микронеровностей полученный таким методом изображён на рисунке 4.

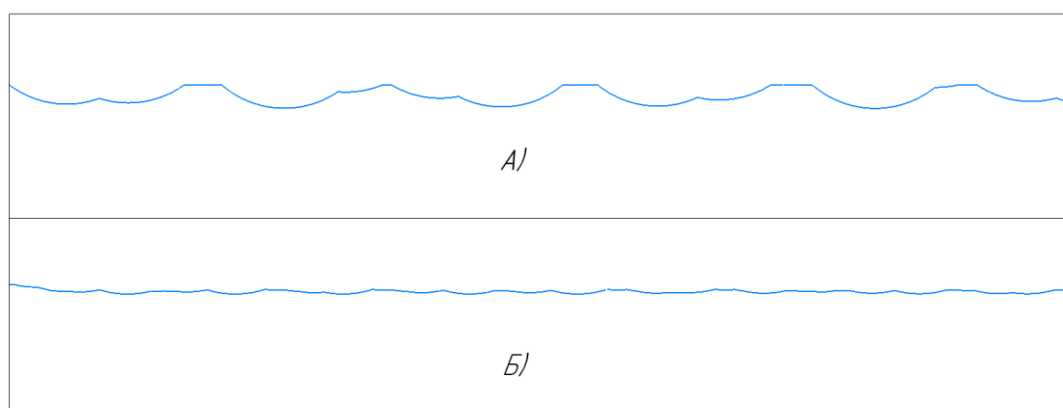


Рис. 4 – Профиль микронеровностей обработанной поверхности

после вибрационного выравнивания при помощи нового метода:

А – после одного прохода инструмента, Б – после трех проходов инструмента

После анализа рисунка 4, А можно заметить, что профиль микронеровностей приобретает упорядоченный периодический характер, что свидетельствует о постоянстве площади контакта и средней линии шероховатости. После нескольких проходов инструмента профиль приобретает более правильную форму, приближенную к горизонтальной прямой,

кроме того практически отсутствуют впадины на поверхности, что обеспечивает увеличение площади контакта деталей в паре трения. Одним из важных факторов является отсутствие случайных микронеровностей. Новой технологией профиль микронеровностей корректируется амплитудно-частотными характеристиками, частотой вращения и продольной подачей инструмента, что позволит получать требуемую поверхность детали пары трения, что непосредственно скажется на сроке эксплуатации такой поверхности, снизит время её приработки и увеличит период основного времени работы.

В заключении стоит отметить, что широкое внедрение новой технологии позволит повысить специализацию оборудования, которая в свою очередь позволит получать различные поверхности для конкретных условий работы, с корректируемой высотой профиля, площади контакта, твёрдостью поверхности, направлением неровностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимиров А.А., Мартынов Е.М. Перспективы использования конечноэлементного моделирования при исследовании процессов горного и металлургического машиностроения // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: Сб. ст. по материалам XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Старый Оскол: Изд-во СТИ НИТУ МИСиС, 2018. С. 229–234.

2. Владимиров А.А., Сергиев А.П. Влияние амплитуды колебаний на составляющие функции комплексного вибрационного воздействия низкочастотных колебаний // Известия ВолгГТУ. Волгоград: ВолгГТУ, 2018. № 7 (217). (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). С. 13–16.

3. Горбунов И.В., Ефременков И.В., Леонтьев В.Л., Гисметулин А.Р. Особенности моделирования процессов механической обработки в САЕ-системах // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 4 (4). С. 846–853.

4. Криворучко Д.В. Залога В.О., Корбач В.Г. Основи 3D-моделювання процесів механічної обробки методом скінченних елементів: навчальний посібник. Суми: Вид-во СумДУ, 2009. 208 с.

5. Кудинов Е.А., Владимиров А.А. Оптимизация технологических параметров вибрационного точения при моделировании процессов резания методом конечных элементов // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: Сб. ст. по материалам XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Старый Оскол: Изд-во СТИ НИТУ МИСиС, 2021. С. 144–150.

6. Сергиев А.П., Швачкин Е.Г. Исследование оптимального соотношения параметров колебаний при вибрационном резании // Вестник машиностроения. 2004. № 5. С. 49–53.

7. Сергиев А.П., Владимиров А.А., Макаров А.В., Швачкин Е.Г. Физические основы процесса вибрационного резания при точении // Научно-теоретический журнал Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2017. № 3. С. 94–102.

8. Сергиев А.П., Владимиров А.А., Швачкин Е.Г. Оптимизация технологических параметров при вибрационном резании // Вестник машиностроения. 2017. № 3. С. 79–82.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ С НИЗКОЧАСТОТНЫМИ МАЯТНИКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ

Кудинов Е.А., Владимиров А.А., Макаров А.В., Шаповалов А.И.

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 в роли объекта исследования выступает профиль микрогеометрии поверхности, получаемых при помощи метода вибрационной лезвийной обработки, в ходе проведения исследований создавались условия, приближенные к реальному протеканию процесса вибрационного резания. Целью работы является создание различных моделей профилей поверхностей при их моделировании в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D в виде рекомендаций к проведению последующих натурных экспериментов по этому направлению исследований.

Ключевые слова: тангенциальные колебания; микрогеометрия поверхности; шероховатость; коэффициент трения; масляный клин; микронеровности.

MODELING OF A REGULAR SURFACE MICRORELIEF DURING TURNING WITH LOW-FREQUENCY PENDULUM OSCILLATIONS

Kudinov E.A., Vladimirov A.A., Makarov A.V., Shapovalov A.I.

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

microdistrict them. Makarenko, 42, tomm_sti_misis@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 ext. 240

Abstract. In the article, the role of the object of study is the profile of the microgeometry of the surface obtained using the method of vibrational blade processing; in the course of the research, conditions were created that were close to the actual course of the vibrational cutting process. The aim of the work is to create various models of surface profiles during their modeling in the computer-aided design system KOMPAS-3D in the form of recommendations for subsequent full-scale experiments in this area of research.

Keywords: tangential vibrations; surface microgeometry; roughness; coefficient of friction; oil wedge; microroughness.

Введение

Одной из актуальных проблем современной промышленности является износ поверхностей деталей, работающих в режиме трения скольжения. В связи с недостаточным смазыванием поверхностей входящих во взаимодействие происходит быстрое изнашивание материала и деталь начинает работать в режиме повышенного износа, в следствие чего быстро выходит из строя.

Современные методы обработки обеспечивают достаточно высокие показатели классов точности и шероховатости получаемых поверхностей, но для деталей, работающих в агрессивных средах или с повышенной нагрузкой этих показателей не всегда хватает для долгосрочной работы изделия. Используемые способы обработки создают простые геометрии профилей микронеровностей на поверхностях деталей трения, тем самым уменьшая полученные на предыдущих этапах обработки неровности сохраняя случайность их размеров и расположения.

Новый метод получения поверхностей деталей пар трения повысит способность поверхности удерживать смазочный материал в процессе работы, что обеспечит протекание трения «масло о масло». Протекание этого процесса позволит предохранить поверхности деталей пар трения от преждевременного износа в процессе периода основной работы механизма или узла и сократит некоторую часть износа во время приработки деталей. Это обеспечивается за счёт создания более сложной геометрии, с контролируемыми неровностями, в которых будет задерживаться смазочный материал, тем самым создавая защитный слой на поверхности детали.

Из этого следует, что разработка нового метода является актуальным направлением исследований на сегодняшний день.

Целью направления исследований является нахождение теоретических зависимостей коэффициента трения и степени удержания смазочного материала от профиля микрогеометрии поверхностей деталей, работающих в паре трения скольжения, и последующее исследование этих зависимостей в практических экспериментах с использованием устройства вибрационного резания [4].

В качестве объекта выступает процесс вибрационного точения, в ходе которого будет оцениваться влияние нового метода обработки на смазываемость поверхностей деталей пар трения.

Основная часть

Для сокращения практических экспериментов и исследований было принято решение о предварительном моделировании получаемых поверхностей с генерированием на них вынужденный маятниковых тангенциальных колебаний для определения требуемых

амплитудно-частотных характеристик [7]. Это моделирование позволит с помощью САПР КОМПАС-3D получить представление о профиле микрогеометрий поверхностей деталей в ходе их обработки вибрационным резанием.

Преимуществами такого метода моделирования является возможность изменять все необходимые входные параметры и наблюдать за их влиянием на конечный результат без затрат материалов и ресурсов.

Пример смоделированной микрогеометрии на наружной цилиндрической поверхности приведён на рисунке 1, а на рисунке 2 показан разрез профиля микронеровностей. Поверхности моделировались, исходя из следующих основных режимов вибрационного резания: амплитуда колебаний 50-200 мкм, частота колебаний 25-100 Гц, глубина резания (впадин) 0,1-0,3 мм. Кроме того, формообразующими элементами выбирались модели режущих пластин из твёрдого сплава различных форм и размеров, соответствующим стандартам и ГОСТам.

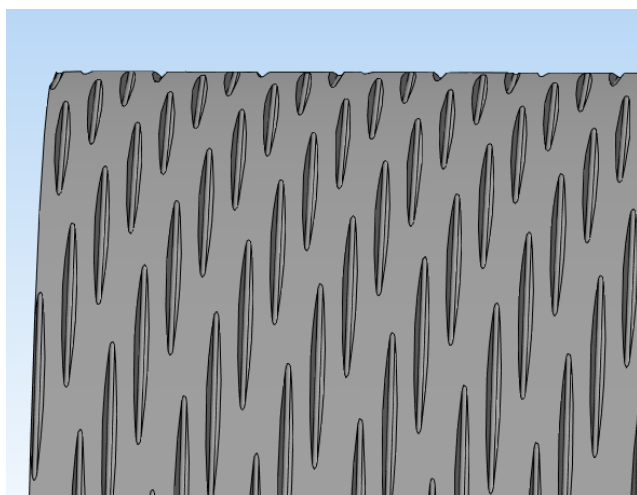


Рис. 1 – Поверхность, обработанная
вибрационным резанием

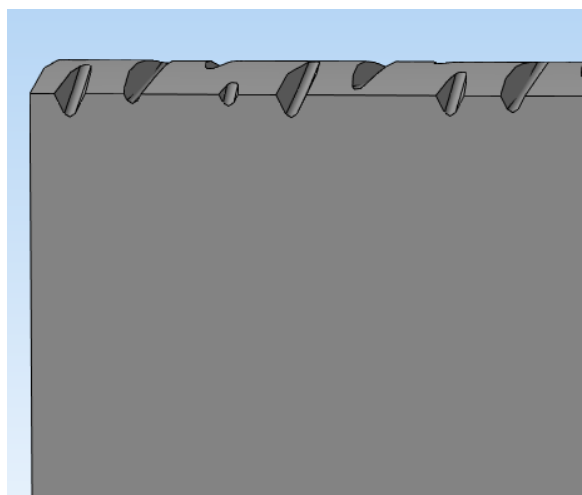


Рис. 2 – Разрез поверхности, по оси
симметрии детали

На полученных поверхностях без труда можно заметить каналы для удержания смазочного материала, эти каналы снижают площадь контакта незначительно, что не сказывается на величину износа, а наоборот выполняют функцию полостей для удержания смазочного материала. Процесс их заполнения и образования масляного клина можно увидеть ниже, на рисунках 3 и 4.

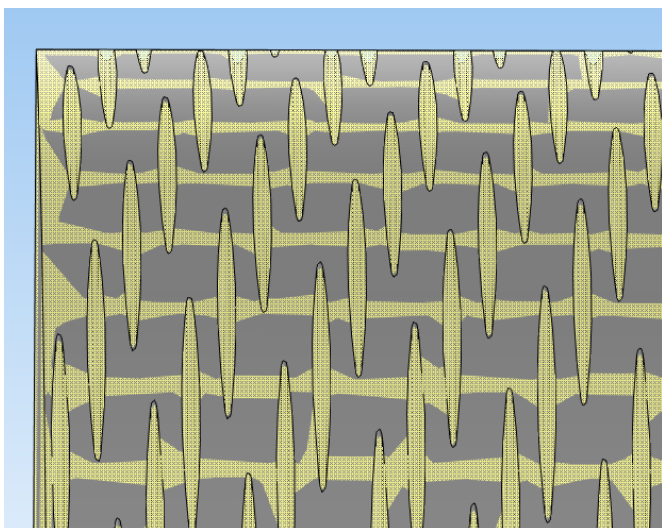


Рис. 3 – Масляный клин на поверхности
детали пары трения

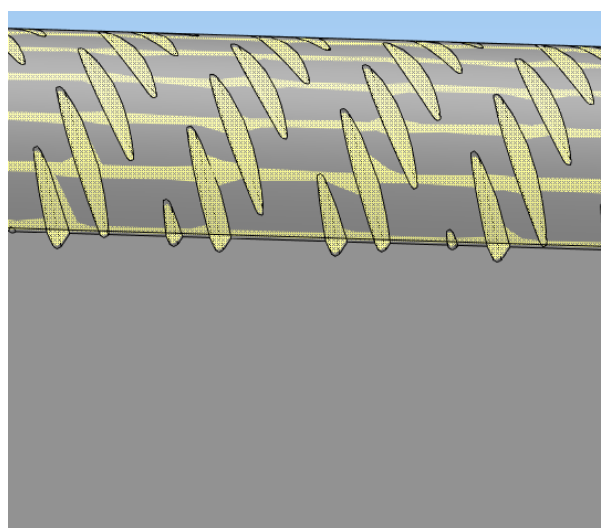


Рис. 4 – Заполнение полостей
смазочным материалом

Также новая технология позволит получать поверхности с различными видами профилей микронеровностей, отличающихся как по форме и размерам, так и по количеству и углу наклона на обрабатываемой поверхности. Это позволит получать различные микрогеометрии, способные отвечать требованиям эксплуатации детали таким, например, как: ось вращения или перемещения пары трения, вида смазочного материала, условия работы поверхности, материал детали, заданные параметры коэффициента трения и смазывания поверхности.

На рисунке 5 приведены различные варианты профилей микрогеометрии, которые при необходимости возможно получить на поверхностях обрабатываемых деталей.

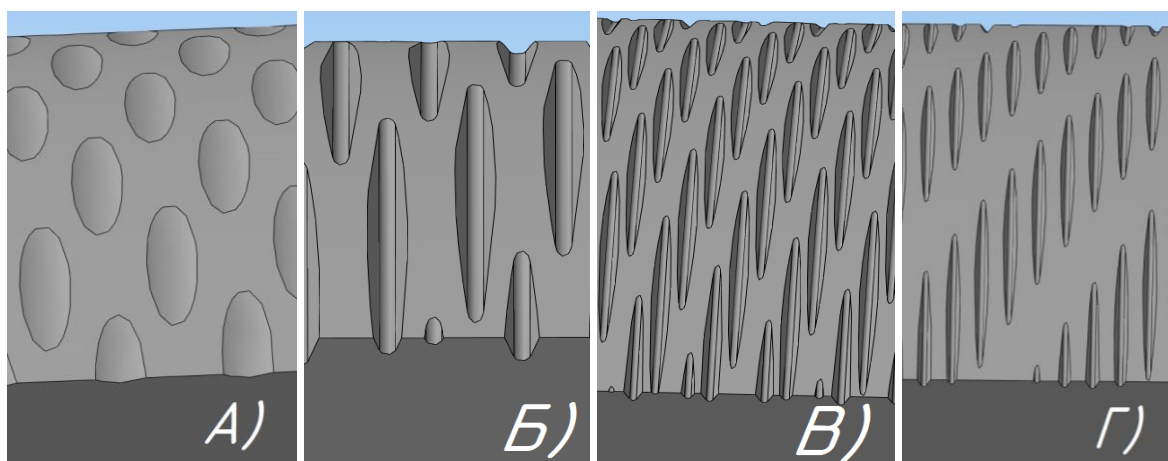


Рис. 5 – Изменение профилей микрогеометрий в зависимости от: А – формы режущего инструмента; Б – глубины резания колебаний; В – продольной подачи инструмента; Г – частоты вращения детали

При изменении формы сменной режущей пластины возможно получать различные профили полостей на поверхности (рис. 5, А). Увеличение или уменьшение глубины резания позволяет изменять глубину получаемых канавок (рис. 5, Б). Изменение продольной подачи инструмента влияет на расстояние между канавками вдоль оси обрабатываемой детали (рис. 5, В). Изменение частоты вращения детали влияет на общее количество полученных канавок (рис. 5, Г).

Комбинируя различные режимы резания и частотно-амплитудные характеристики возможно добиться требуемого профиля микронеровностей для обеспечения необходимого значения коэффициента трения и параметров смазываемости поверхности.

Таким образом изменяя определённые параметры процесса колебаний возможно получение кардинально разных профилей микрогеометрий поверхностей [6]. Это играет большую роль в универсальности и многопрофильности новой технологии. Что позволит использовать для решения совершенно различных задач по увеличению смазываемости трущихся поверхностей деталей, работающих в агрессивных средах и имеющих повышенные требования к коэффициенту трения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sergiev A.P., Vladimirov A.A., Shvachkin E.G. Optimization of Vibrational Cutting // Russian Engineering Research. 2017. Vol. 37. No. 6. P. 505–508.
2. Владимиров А.А., Сергиев А.П. Влияние амплитуды колебаний на составляющие функции комплексного вибрационного воздействия низкочастотных колебаний // Известия ВолгГТУ. Волгоград: ВолгГТУ, 2018. № 7 (217). (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). С. 13–16.
3. Владимиров А.А., Афонин А.Н., Макаров А.В. Особенности механизма формирования микронеровности поверхности при вибрационном точении // Научно-технический вестник Поволжья. 2019. № 2. С. 27–29.
4. Владимиров А.А., Афонин А.Н., Макаров А.В., Назарова М.Ю. Геометрическая модель шероховатости при точении с маятниковыми колебаниями резца // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 4–1 (336). С. 15–19.
5. Горбунов И.В., Ефременков И.В., Леонтьев В.Л., Гисметулин А.Р. Особенности моделирования процессов механической обработки в САЕ-системах // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 4 (4). С. 846–853.
6. Кудинов Е.А., Владимиров А.А. Оптимизация технологических параметров вибрационного точения при моделировании процессов резания методом конечных элементов // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и

производство: Сб. ст. по материалам XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Старый Оскол: Изд-во СТИ НИТУ МИСиС, 2021. С. 144–150.

7. Сергиев А.П., Швачкин Е.Г. Исследование оптимального соотношения параметров колебаний при вибрационном резании // Вестник машиностроения. 2004. № 5. С. 49–53.

8. Сергиев А.П., Владимиров А.А., Макаров А.В., Швачкин Е.Г. Физические основы процесса вибрационного резания при точении // Научно-теоретический журнал Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2017. № 3. С. 94–102.

9. Сергиев А.П., Владимиров А.А., Швачкин Е.Г. Оптимизация технологических параметров при вибрационном резании // Вестник машиностроения. 2017. № 3. С. 79–82.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РОЛИКОВ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Макаров А.В., Владимиров А.А., Шаповалов А.И., Титова А.П., Новоточинов А.П.

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.** Исследованы структура, состав и трибологические характеристики покрытий для роликов машин непрерывного литья заготовок, полученных методами электродуговой и плазменно-порошковой наплавки. Электродуговую наплавку образцов из стали 20Х13 осуществляли порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС, а плазменно-порошковую наплавку – материалом EuTroLoy 16604 на основе Fe-Co-Cr-Mo. Для оценки свойств покрытий выполнен структурный и фазовый анализ, определены коэффициенты трения и интенсивность изнашивания.*

Ключевые слова: машина непрерывного литья заготовок; ролики; износ; восстановление; плазменно-порошковая наплавка; электродуговая наплавка; износостойкость.

PROSPECTS FOR APPLICATION OF THE METHOD OF PLASMA-POWDER WELDING FOR RECOVERY OF ROLLERS OF MACHINES FOR CONTINUOUS CASTING OF BLANKS

Makarov A.V., Vladimirov A.A., Shapovalov A.I., Titova A.P., Novotochinov A.P.

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

microdistrict them. Makarenko, 42, tomm_sti_misis@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 ext. 240

***Abstract.** The structure, composition and tribological characteristics of coatings for rollers of machines for continuous casting of blanks obtained by methods of electric arc and plasma-powder surfacing are studied. Electric arc surfacing of samples from steel 20Cr13 was carried out with 25Cr5FMoS flux-cored wire, and plasma-powder surfacing was carried out with EuTroLoy 16604 material based on Fe-Co-Cr-Mo. To evaluate the properties of the coatings, a structural and phase analysis was performed, the friction coefficients and wear intensity were determined. The results of*

industrial tests of rollers of continuous casting machines, restored according to the developed technology in industrial conditions, are presented.

Keywords: continuous casting machine; rollers; wear; restoration; plasma-powder surfacing; electric arc surfacing; wear resistance.

Введение

Роликовая проводка является важной частью машин непрерывного охлаждения заготовок (МНЛЗ) и служит для транспортировки, поддержки, направления и вытягивания слитка. Условия работы роликов характеризуются высокими механическими нагрузками, а также циклическим температурным нагревом и охлаждением, следствием чего является термоусталостное растрескивание бочки ролика [1].

Традиционно ролики МНЛЗ изготавливаются из жаропрочных марок сталей 20Х13, 25Х1М1Ф, 40ХГНМ, 24ХМ1Ф и др. [2, 3]. Восстановление изношенных функциональных поверхностей роликов МНЛЗ на металлургических комбинатах, как правило, осуществляется электродуговой наплавкой сплошных и порошковых проволок Св-20Х13, ПП-Нп-25Х5ФМС, ASM 4603SA, Велтек Н470С и др. [4-7]

Типовой технологический процесс восстановления ролика МНЛЗ включает следующие операции: предварительный отжиг всей заготовки, замедленное охлаждение вместе с печью; предварительная токарная обработка рабочей поверхности заготовки до полного устранения поверхностных трещин до минимально допустимого диаметра; нагрев перед наплавкой; электродуговая наплавка под слоем флюса; отпуск с последующим охлаждением на воздухе; токарная обработка поверхности.

Для металлургических предприятий актуальной задачей является не только восстановление геометрических параметров изношенных поверхностей роликов, но и создание таких эксплуатационных характеристик поверхностного слоя, которые позволят существенно повысить межремонтный интервал указанных деталей при сохранении экономической целесообразности их восстановления.

Целью данной работы являлось изучение структуры, состава и трибологических характеристик износостойких поверхностных слоев роликов МНЛЗ, полученных по технологиям плазменно-порошковой и электродуговой наплавки, а также оценка эффективности плазменно-порошковой наплавки для восстановления роликов МНЛЗ.

Материалы и методы исследования

Подложкой для наплавки являлись образцы из стали 20Х13 размерами Ø80×30 мм, с износостойкими слоями, сформированными методом электродуговой наплавки порошковой

проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС и плазменно-порошковой наплавки порошка EuTroLoy 16604 производства компании Castolin.

Методом электродуговой наплавки на установке УСН 60-550/1400 SAW в 3 слоя под флюсом марки АН-20С на образцы наплавляли порошковую проволоку ПП-Нп-25Х5ФМС.

Отпуск образцов для снятия остаточных напряжений производился в муфельной электрической печи ЭКПС-10 при температуре 400 °С в течение 3 часов с последующим охлаждением вместе с печью.

На плазменно-порошковой установке Eutronic GAP3511 DC производилась наплавка материала EuTroLoy 16604. Последующая термическая обработка не проводилась.

Образцы для исследований размерами 21×21×5 мм получали на многофункциональном отрезном станке LC-250. Резка осуществлялась отрезным диском марки Struers 50A30. Шлифы готовили на полировальной машине Struers Roto Pol-21 в автоматическом режиме. При шлифовании применялись последовательно шлифовальные бумаги Struers с зернистостью карбида кремния (SiC) 120, 220, 500, 800, 1200, 4000. Полирование образцов проводили с помощью суспензии из коллоидного оксида кремния O-PS для финишной полировки с размером зерна 0,04 мкм.

Твердость образцов с наплавленными слоями измерялась согласно ГОСТ 9013-59 на твердомере ТР 5006.

Микроструктура наплавленных слоев исследовалась на оптическом микроскопе Neophot-32 и сканирующем электронном микроскопе HitachiS-3400N, оснащенный рентгеновским энергодисперсионным спектрометром NORAN.

Рентгеноструктурный фазовый анализ образцов с наплавленными слоями проводился на дифрактометре ДРОН-4 с использованием монохроматического Co-K α излучения (длина волны 1.79021 Å) и Cu-K α излучения (длина волны 1.54178 Å). Съемка проводилась в режиме шагового сканирования в интервале углов $2\Theta = 10^\circ \dots 130^\circ$, шаг съемки составлял $0,1^\circ$, экспозиция – 2...4 с.

Обработка спектров проводилась при помощи программ качественного PHAN и количественного анализа PHAN%, разработанных в НИТУ «МИСиС».

Трибологические свойства образцов с наплавленными слоями оценивали в соответствии с международными стандартами ASTM G 99-959 и DIN 50324 на высокотемпературной машине трения High temperature Tribometer CSM Instruments по схеме pin-on-disk. В качестве контртела применяли шарик из Al₂O₃ диаметром 6 мм. Линейная скорость скольжения образцов выбрана равной 10 см/с, нагрузка – 5 Н. Зависимость коэффициента трения трущейся пары от длины пробега контртела, равной 500 м, строилась на компьютере с помощью программного обеспечения InstrumX.

Температура трибологических испытаний составляла 500 °С, что соответствует температуре на поверхности роликов МНЛЗ, измеренной тепловизором SDS Hot Find-DXT [2].

Профиль дорожки износа исследовали на оптическом профилометре Veeco Wyco NT 1100.

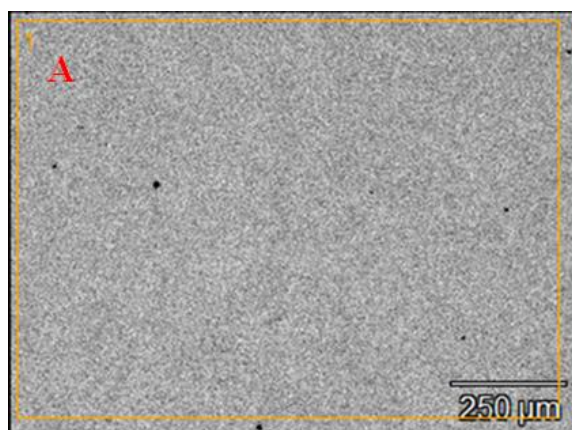
Скорость износа определяли по формуле:

$$W = s \cdot L / (H \cdot l),$$

где W – скорость износа, $\text{мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$; L – длина окружности, мм; s – площадь сечения износа канавки, мм^2 ; H – нагрузка, Н; l – путь трения, м.

Установлено, что твердость наплавленных слоев составила 49 HRC при плазменно-порошковой наплавке материала EuTroLoy 16604 и 50 HRC – при электродуговой наплавке под флюсом материала ПП-Нп-25Х5ФМС.

Структура наплавленного слоя после плазменно-порошковой наплавки приведена на рисунке 1а, состав представлен в таблице 1.



а)



б)

Рис. 1 – Структура наплавленного слоя:

а – плазменно-порошковая наплавка материала EuTroLoy 16604; б – электродуговая наплавка под флюсом ПП-Нп-25Х5ФМС

Таблица 1 – Элементный состав наплавленного слоя EuTroLoy 16604 (рис. 1а)

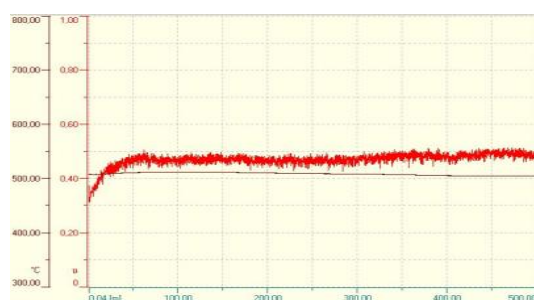
Область	C-K	Si-K	Cr-K	Fe-K	Co-K	Mo-L
A	2,9	0,5	14,1	68,9	12,0	1,8

На рисунке 1б приведена структура наплавленного слоя ПП-Нп-25Х5ФМС, а в таблице 2 приведен его элементный состав.

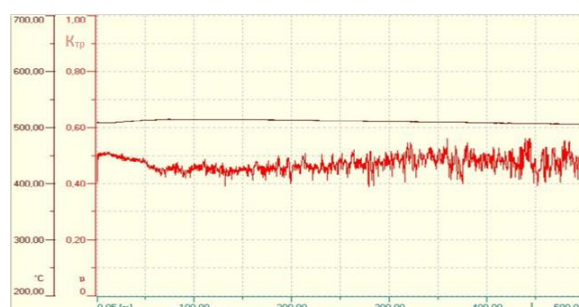
Таблица 2 – Элементный состав наплавленного слоя ПП-Нп-25Х5ФМС (рис. 1б)

Область	O-K	Cr-K	Mn-K	Fe-K
1	27,8	0,9	0,5	70,7

Требологические испытания образцов, проведенные на высокотемпературной машине трения, показали, что коэффициент трения $K_{тр}$ в паре образец, наплавленный материалом EuTroLoY 16604 – контртело после 500 м испытаний составляет 0,49 (рис. 2а), в паре образец ПП-Нп-25Х5ФМС – контртело – 0,5 (рис. 2б), при этом для покрытия, наплавленного EuTroLoY 16604, не наблюдается скачкообразных изменений коэффициента трения, фиксируемых для образца, полученного при помощи дуговой наплавки.



а)



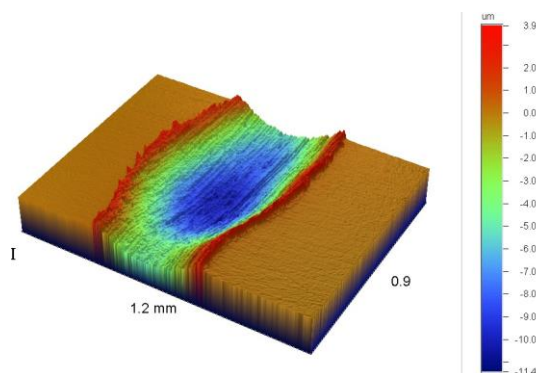
б)

Рис. 2 – Зависимость коэффициента трения наплавленных слоев от длины пробега контртела: а – плазменно-порошковая наплавка материала EuTroLoY 16604; б – электродуговая наплавка ПП-Нп-25Х5ФМС

Профиль дорожки износа образца из EuTroLoY 16604 и ее трехмерное изображение приведены на рисунке 3. Скорость износа образца составляет $49,8 \times 10^{-6} \text{ мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$.



а)



б)

Рис. 3 – Профиль дорожки износа образца с наплавленным слоем EuTroLoY 16604 (а) и ее трехмерное изображение (б)

Дорожка износа и продукты износа приведены на рисунке 4. Видно, что размер частиц продуктов износа менее 1 мкм.

Профиль дорожки износа образца ПП-Нп-25Х5ФМС и ее трехмерное изображение приведены на рисунке 5, вид дорожки износа и продукты износа приведены на рисунке 6. Скорость износа образца с наплавленным слоем составляет $292,5 \times 10^{-6} \text{ мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$.

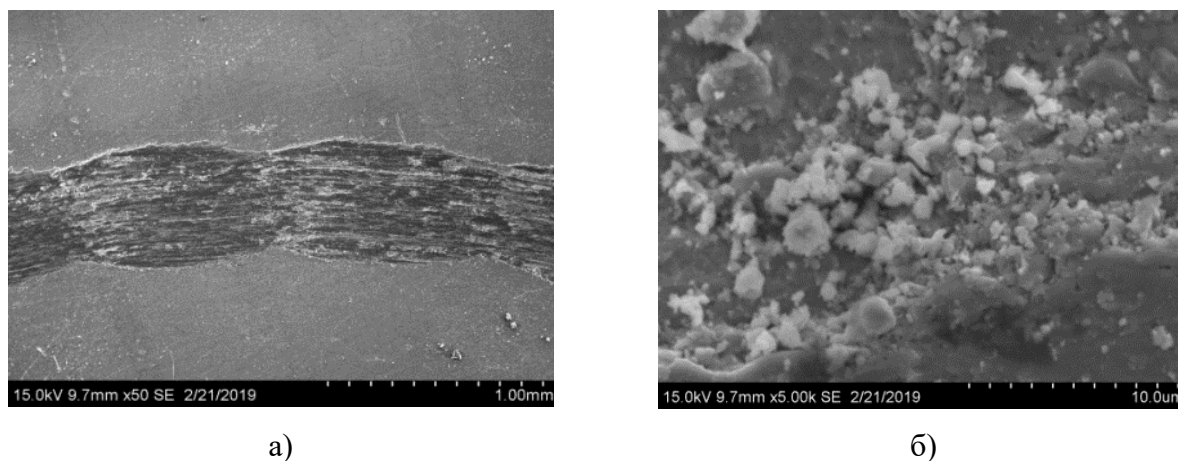


Рис. 4 – Вид дорожки износа (а) и продукты износа (б) образца с наплавленным слоем EuTroLoy 16604

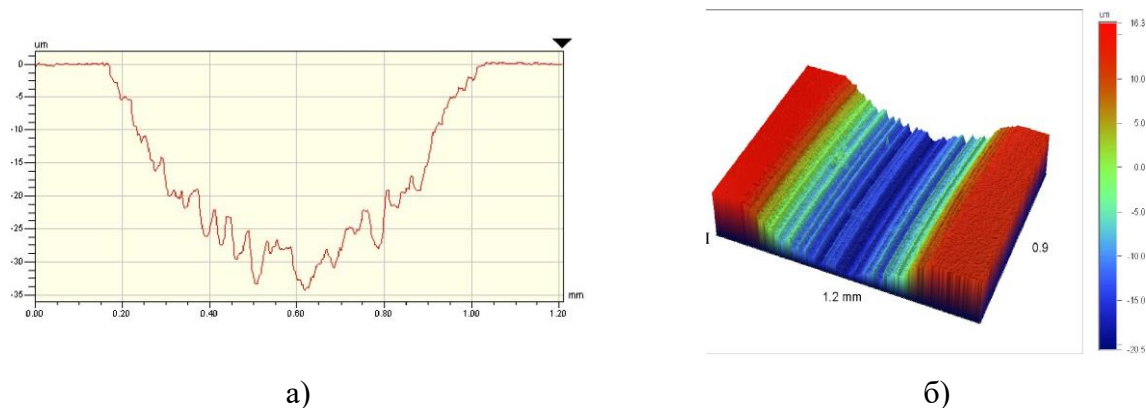
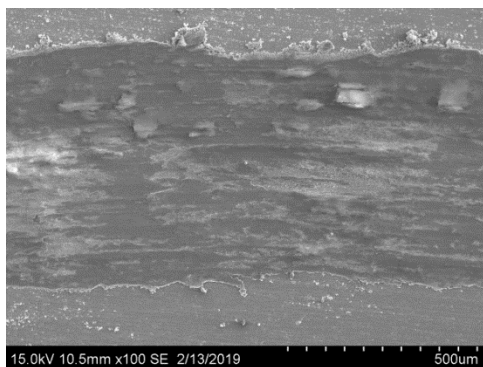
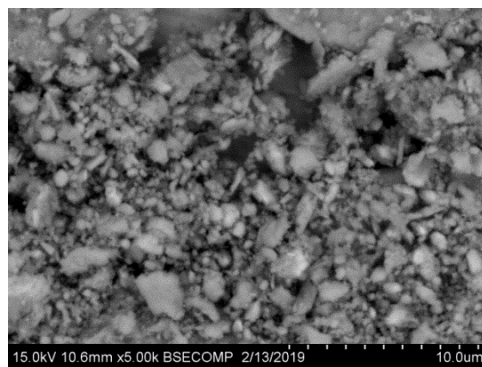


Рис. 5 – Профиль дорожки износа образца с наплавленным слоем ПП-Нп-25Х5ФМС (а) и ее трехмерное изображение (б)



а)



б)

Рис. 6 – Вид дорожки износа образца из стали ПП-Нп-25Х5ФМС (а) и продукты износа (б)

Выводы

1. Образец с плазменно-порошковой наплавкой материала EuTroLoy 16604 характеризуется более низкой (в 5,87 раза) скоростью износа по сравнению с образцом с наплавленным порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС слоем.
2. За счет легирования порошка EuTroLoy 16604 кобальтом увеличена стойкость получаемых покрытий к высокотемпературному износу, и механизм износа изменен с абразивного, наблюдаемого для образца, наплавленного под флюсом, на адгезионный для образца, наплавленного плазменно-порошковым методом, о чем свидетельствует профиль дорожки износа образцов.
3. Плазменно-порошковая наплавка материала EuTroLoy 16604 может быть рекомендована для восстановления изношенных роликов МНЛЗ в производственных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьминов А.Л., Кожевников А.В. Расчет и диагностика транспортирующих машин металлургических агрегатов: монография: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 148 с.
2. Репников Н.И., Макаров А.В., Кудряшов А.Е., Бойко П.Ф., Мамкин В.А. Определение перспективных наплавочных материалов для восстановления роликов вторичного охлаждения МНЛЗ с использованием структурных и трибологических методов исследований // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2016. Т. 1. С. 280–284.
3. Кирчу И.Ф., Степанова Т.В., Супрун М.В. Опыт применения роликов из стали 25Х2Г1АФ на слябовой МНЛЗ // Сталь. 2015. № 1. С. 68–72.

4. Красильников С.Г., Окунев Ю.В., Пантелеймонов В.А., Шаповалов К.П., Орлов Л.Н., Голякевич А.А. Применение порошковой проволоки ООО «ТМ ВЕЛТЕК» в производстве металлоконструкций ЗАО «НКМЗ» // Сварщик. 2007. № 1 (53). С. 6–9.

5. Березовский А.В. Наплавочные материалы для упрочнения роликов МНЛЗ // Инновации в материаловедении и металлургии: материалы I международной интерактивной научно-практической конференции. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. Ч. 1. С. 34–37.

6. Мазур Н.В. Повышение стойкости роликов МНЛЗ на основе результатов исследования и моделирования процессов при их изготовлении, восстановлении и эксплуатации: автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. Магнитогорск, 2009. 20 с.

7. Макаров А.В., Кудряшов А.Е., Владимиров А.А., Баранов М.А. Повышение стойкости роликов МНЛЗ методом электродуговой наплавки с применением перспективных наплавочных материалов. Часть 1. Структура, фазовый состав и свойства наплавленных слоев // Чёрные металлы. 2021. № 9. С. 15–19.

РАЗРАБОТКА ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ДЛЯ ДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ АЛЮМИНИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, СТОЙКИХ К ВЫСОКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ

Невежин С.В.¹, Беликов С.В.², Балин А.Н.³, Герасимов А.С.¹, Кашфуллин А.А.¹

¹ООО «ВВСТ», Россия, 142108, г. Подольск, Бородинский бульвар, 2, vvstmsk@mail.ru;

²ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 28, s.v.belikov@urfu.ru;

³ЗАО «ЗСМ», Россия, 623703, г. Берёзовский, Западная Промзона, 18

Аннотация. Исследованы структура и свойства металлизационных покрытий, нанесенных на образцы электродного графита из порошковой проволоки экономной системы легирования, соответствующей стехиометрическому алюминиду железа Fe_3Al . При помощи растровой электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа установлено, что в исходном состоянии участки покрытий представляют твердый раствор легирующих элементов в железе (феррит), при этом в структуре покрытий имеются оксиды различного состава на основе железа $(Fe,Al)O$, $(Fe,Al)_2O_3$. Потеря массы образцов с защитным покрытием по результатам испытаний на жаростойкость при 800 °C составила не более 2% от исходной.

Ключевые слова: дуговая металлизация; порошковая проволока; система легирования; структура и свойства защитных покрытий.

DEVELOPMENT OF CORED WIRES FOR ARC SPRAYING OF HEAT RESISTANT ALUMINIDE COATINGS

Nevezhin S.V.¹, Belikov S.V.², Balin A.N.³, Gerasimov A.S.¹, Kashfullin A.A.¹

¹VVST LLC, Russia, 142108, Podolsk, Borodinsky Boulevard, 2, vvstmsk@mail.ru;

²Ural Federal University, Russia, 620002, Ekaterinburg, Mira, 28, s.v.belikov@urfu.ru;

³ZSM CJSC, Russia, 623703, Berezovsky, Western Industrial Zone, 18

Abstract. The structure and properties of arc sprayed coatings, applied to samples of electrode graphite from a cored wire with economical alloying system corresponding to stoichiometric iron aluminide Fe_3Al are investigated. Using of scanning electron microscopy and X-ray spectral microanalysis, it was found that in the initial state the coating it is a solid solution of alloying elements in iron with oxides of various compositions, such as $(Fe,Al)O$, $(Fe,Al)_2O_3$. The mass loss of samples with a protective coating after testing of heat resistance at 800 °C was no more than

2% of the initial.

Keywords: arc spraying; cored wire; alloying system; structure and properties of protective coatings.

Введение

Потери графитированных электродов из-за окисления графита с их боковой поверхности в процессе выплавки стали в дуговых печах составляют до 50% [1], при этом затраты на электроды могут составлять существенную долю от себестоимости производства стали [2].

Анализ публикаций говорит о возможности снижения окисления и расхода графитированных электродов за счет применения покрытий на основе алюминидов железа, что обусловлено их стойкостью к воздействию механических нагрузок, агрессивных сред и высоких температур (свыше 700 °C), а также дешевизной в сравнении с алюминидами никеля, применяемыми для напыления защитных покрытий [3-5].

Основными недостатками алюминидов железа является низкая пластичность и вязкость, охрупчивание при комнатной температуре, причем в публикациях приводятся сведения о том, что показатели механических и служебных свойств алюминидов повышаются, за счёт легирования Cr, B, Zr, Nb, Y и Ce, а также введения в их состав нанодисперсных оксидов Al_2O_3 , ZrO_2 , CeO_2 , La_2O_3 и др., при этом нет однозначных указаний по влиянию различных типов легирующих компонентов на свойства алюминидов в части их дисперсности и количественного содержания [6-13].

В этом направлении большое внимание уделяется разработке порошковых проволок для дуговой металлизации [14-19], что позволяет наиболее просто получить композиционные покрытия сложной системы легирования, необходимые для защиты от комплексных высокотемпературных воздействий, как в случае графитированных электродов дуговых печей.

Однако на сегодняшний день в России не производятся порошковые проволоки для нанесения металлизационных покрытий, обеспечивающих защиту от высокотемпературных воздействий, а система легирования разработанных за рубежом порошковых проволок, включает дефицитные и дорогостоящие элементы, из-за чего повышается стоимость нанесения покрытий и уменьшается эффективность их применения.

Таким образом, сегодня необходимы новые материалы и технологии нанесения защитных покрытий, способных реализовать эффективную защиту графитированных электродов от высокотемпературных воздействий, обеспечивая при этом высокие показатели качества покрытий, производительности и экономичности их нанесения.

Сотрудниками лаборатории «Структурных методов анализа и свойств материалов и

наноматериалов» ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» совместно с компанией ЗАО «ЗСМ» и ООО «ВВСТ» был проведен комплекс исследований, направленных на изучение возможности снижения расхода графитированных электродов методом дуговой металлизации защитных алюминидных покрытий из порошковых проволок.

Методика

Для нанесения покрытий были использованы графитированные электроды марки ЭГ-25 ТУ 14-139-177-2018 диаметром 75 мм, производства АО «ЧЭМК» из которых изготавливались и напылялись образцы диаметром 60 мм высотой 120 мм для исследования структуры и свойств покрытий.

Струйно-абразивную обработку поверхности образцов производили при помощи пескоструйного аппарата напорного типа Contracor Blast Razor 200 RC (DBS-200 RC) с диаметром сопла абразивоструйного пистолета 8 мм при рабочем давлении сжатого воздуха 0,5...0,6 МПа, в качестве абразива применяли стальную колотую дробь марки ДСК 2,0 по ГОСТ 11964-81

Нанесение покрытия толщиной 0,1...0,2 мм осуществлялось сразу после подготовки поверхности образцов через подслои сцепления при помощи установки дуговой металлизации, аналогичной TAFA Model 8830MHU, при давлении сжатого воздуха 0,6 МПа, токе дуги 160 и 200 А, напряжении 30...32 В.

Для нанесения покрытий была изготовлена опытная порошковая проволока диаметром 2 мм, соответствующая по составу стехиометрическому алюминиду железа Fe_3Al (содержание алюминия 13,87 масс.% [20]).

Резку образцов осуществляли на электроэрозионном отрезном станке ECOCUT. Запрессовку образцов осуществляли при помощи пресса для горячей запрессовки образцов Struers CitoPress-20 и смолы PolyFast, поперечные металлографические шлифы готовили на шлифовально-полировальном станке Struers LaboPol-5 с использованием пасты ГОИ № 2 по ТУ 6-18-36-85 и алмазной пасты НОМ 60/40 по ГОСТ 25593-83.

Структурные исследования защитных покрытий проводили с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM 6490 с приставкой для энергодисперсионного и волнового микроанализа Oxford Inca.

Жаростойкость образцов покрытий в ходе первой серии испытаний определяли согласно ГОСТ 9.312-89. Для этого торцы образцов диаметром 60 мм и длиной 120 мм с металлизационным покрытием и контрольных образцов без покрытия защищались при помощи эмали термостойкой Elcon Max Therm. Образцы с металлизационным покрытием и без него помещали в предварительно прокаленные стаканы фарфоровые № 6 объемом 600 мл и выдерживали в лабораторной электрической печи СНОЛ 7,2/1300 для термической

обработки образцов металлов и сплавов в естественной атмосфере в течение 6 часов при температуре 800 °С. Испытания проводились циклами по 2 часа по следующей схеме: нагрев образцов со скоростью 10...13 °С/мин до 800 °С, выдержка при 800 °С в течение 2 часов, охлаждение с печью. Через каждые 2 часа выдержки в печи проводили осмотр внешнего вида образцов и определяли изменение их массы при помощи прецизионных лабораторных весов SHIMADZU ELB ELB-6000S. Жаростойкость образцов покрытий характеризовали как величину обратную удельному изменению их массы в результате выдержки.

Результаты и обсуждение

Снимки с поверхности образцов с защитным покрытием из опытной порошковой проволоки, нанесенном при токе дуги 160 и 200 А, до испытаний на жаростойкость приведены на рис. 1. Несмотря на включения отдельных нерасплавившихся глобулярных частиц шихты характер плавления опытного образца порошковой проволоки с увеличением тока дуги становится более равномерным.

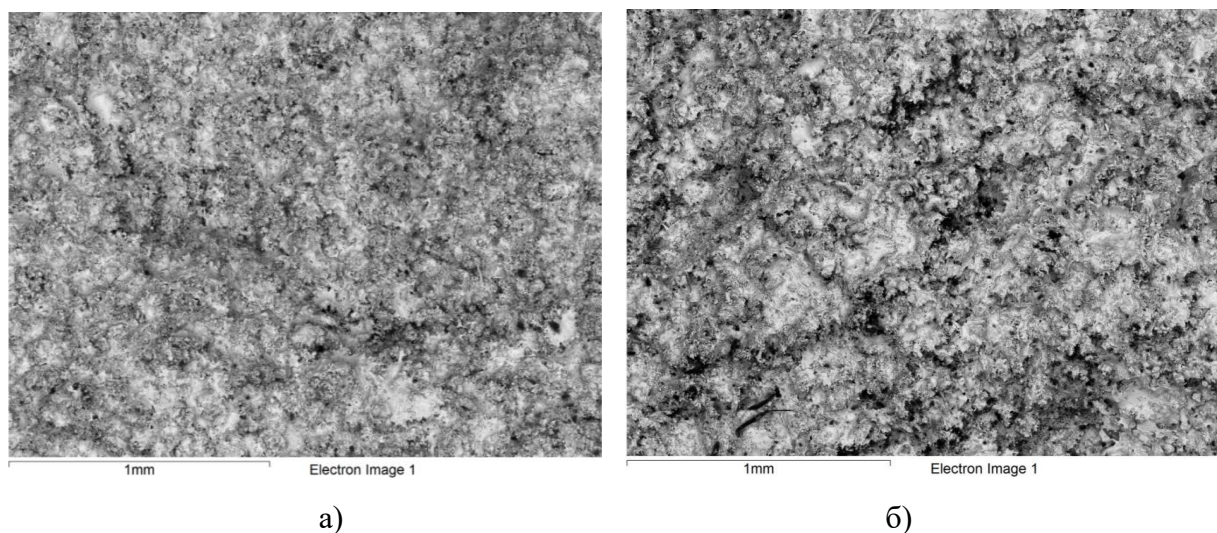


Рис. 1 – Поверхность образцов с покрытием из порошковой проволоки, нанесенным при токе дуги 160 А (а) и токе дуги 200 А (б) до испытаний на жаростойкость

Недостаточная тепловая мощность дуги в первом случае обуславливает наличие видимой микропористости и, вероятно, может приводить к низкой адгезионной прочности покрытий, которая растет с увеличением температуры в контакте «частица-основа».

Снимки поперечного сечения образцов с защитным покрытием из опытной порошковой проволоки, нанесенном при токе дуги 200 А, до испытаний на жаростойкость приведены на рисунке 2. На приведенных снимках видно, что светлые ламели покрытия разделены тонкими оксидными пленками серого цвета.

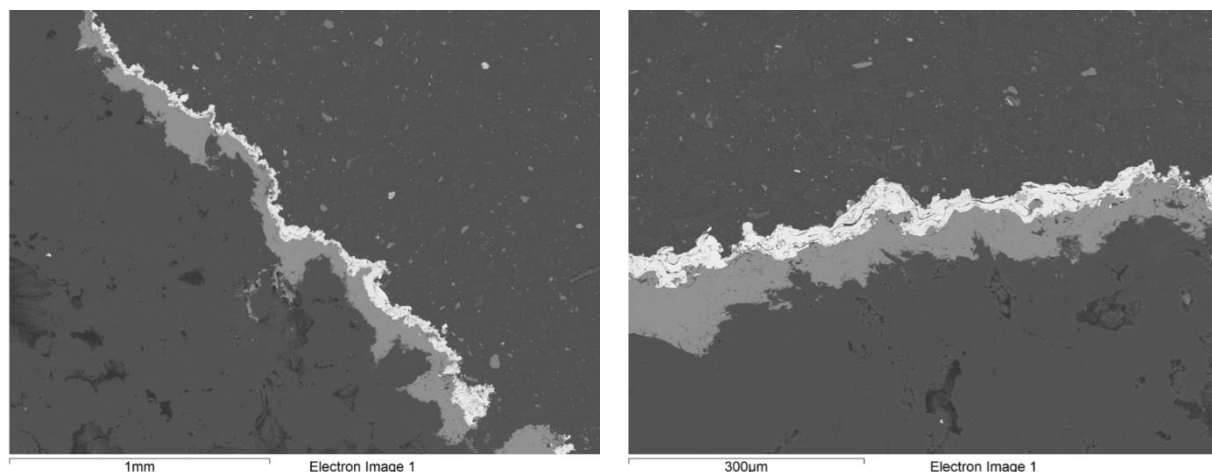


Рис. 2 – Поперечное сечение образцов с покрытием из порошковой проволоки, нанесенным при токе дуги 200 А, до испытаний на жаростойкость

Участки, на которых производили определение химического состава покрытий (рис. 3) представляют собой твердый раствор легирующих элементов в железе (феррит), а в их структуре имеются оксиды на основе железа различного состава $(\text{Fe,Al})\text{O}$, $(\text{Fe,Al})_2\text{O}_3$. В целом, фактический химический состав нанесенных покрытий соответствует заданному при изготовлении опытного образца порошковой проволоки и позволяет обеспечить формирование алюминидов Fe_3Al , с высокой стойкостью к окислению вплоть до 1000 °С.

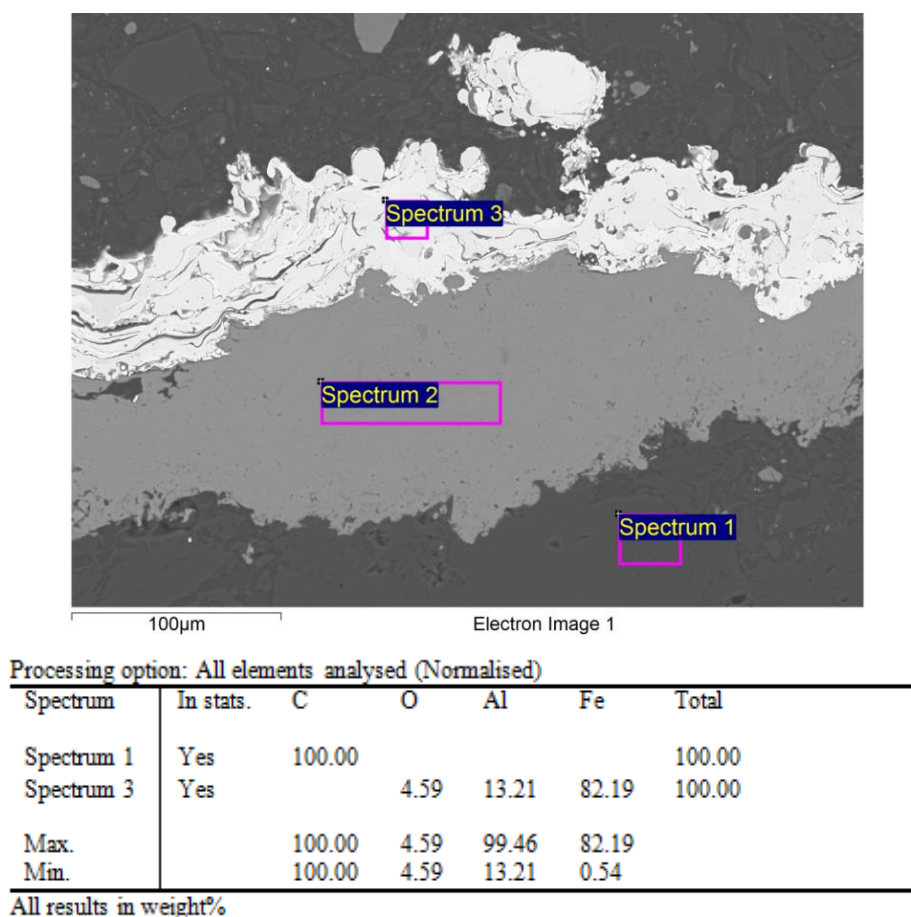


Рис. 3 – Участки, на которых производили определение химического состава покрытий

Стойкость алюминидов против окисления при высоких температурах объясняется высокой прочностью химической связи, малой диффузионной подвижностью атомов в их решетке, а также тем, что на их поверхности образуются стойкие оксидные пленки, такие как Al_2O_3 и другие комплексные оксиды.

Данные пленки характеризуются высокими защитными свойствами: температурой плавления, соответственно, химической и термической стабильностью, низкой скоростью роста, благодаря чему обеспечивается снижение окисления электродного графита с защитным покрытием в условиях высокотемпературной газовой коррозии.

Снимки образцов после первой серии испытаний на жаростойкость в течение 2, 4 и 6 часов приведены на рисунках 4 а, б и в соответственно, результаты испытаний сведены в таблицу 1. Уже в ходе первых 2 часов выдержки, на торцевых поверхностях образцов, защищенных при помощи эмали термостойкой Elcon Max Therm, начали появляться кольцевые трещины, которые в ходе последующих испытаний привели сначала к отслоению эмали с торцов образцов, а затем и частичному разрушению покрытия на их боковых поверхностях.

Вероятно, это связано с высокой толщиной покрытия, наносимого из эмали на торцевые поверхности образцов, что привело к формированию напряжений, достаточных для повреждения покрытия после ее отверждения.

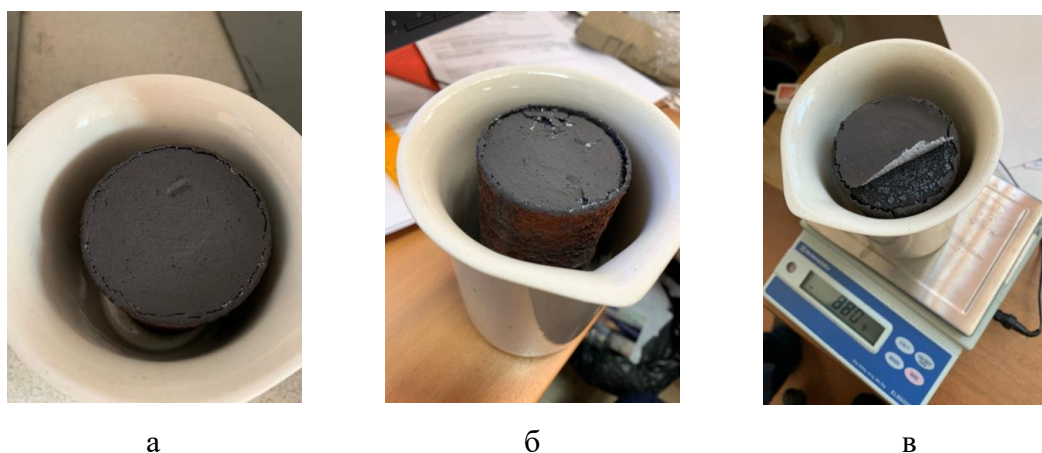


Рис. 4 – Образцы после первой серии испытаний на жаростойкость в течение 2 часов (а), 4 часов (б) и 6 часов (в)

Снимки с поверхности образцов с двухслойным покрытием, второй слой (основной слой) которого наносился с использованием опытной порошковой проволоки при токе дуги 200 А, после испытаний на жаростойкость приведены на рисунке 5.

Вследствие нарушения целостности эмали на торцах образцов электродного графита с защитным покрытием, а также малой суммарной продолжительности испытаний на жаростойкость на их поверхности были определены лишь отдельные участки сформировавшейся защитной оксидной пленки, что и обуславливает высокие показатели потери массы образцов с покрытием из опытной порошковой проволоки – $66,37 \text{ г}/(\text{м}^2\text{ч})$ (значения усреднены по трем образцам). Вместе с тем, эти показатели все равно существенно ниже, чем у контрольного образца электродного графита, для защиты которого не использовалось металлизационное покрытие из опытной порошковой проволоки – $125,37 \text{ г}/(\text{м}^2\text{ч})$. Также, следует отметить, что потеря массы образцов составила лишь 1,68 % от исходной, что на порядок ниже, чем в работе [21] – 16,0%.

Таблица 1 – Результаты первой серии испытаний на жаростойкость образцов с покрытием

Выдержка, ч	Образцы с покрытием (значения усреднены по трем образцам)			
	Масса образца, г	Масса тигля, г	Масса образца и тигля, г	Потеря массы образца, г
0	535	344	879	0

6	526	344	870	9
Выдержка, ч	Контрольный образец (без покрытия)			
	Масса образца, г	Масса тигля, г	Масса образца и тигля, г	Потеря массы образца, г
0	524	332	856	0
6	507	332	839	17

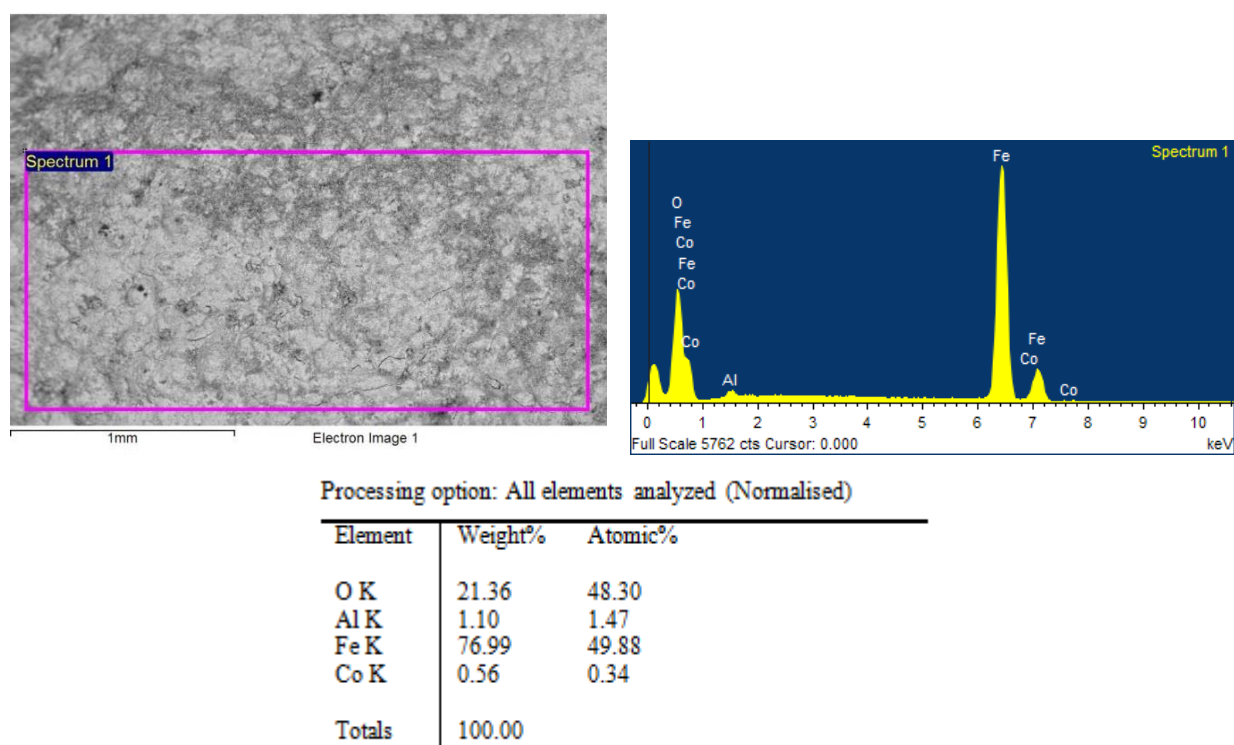


Рис. 5 – Поверхность образца с покрытием из порошковой проволоки после испытаний на жаростойкость и данные микрорентгеноспектрального анализа выделенной области

Выводы

Осуществлено исследование структуры и свойств защитных покрытий, нанесенных на образцы электродного графита, из порошковой проволоки экономной системы легирования, соответствующей по составу стехиометрическому алюминиду железа Fe_3Al (содержание алюминия 13,87 масс.%).

Установлено, что участки покрытий представляют собой твердый раствор легирующих элементов в железе (феррит), а в их структуре имеются оксиды на основе железа различного состава $(\text{Fe,Al})\text{O}$, $(\text{Fe,Al})_2\text{O}_3$.

В ходе проведения испытаний на жаростойкость образцов электродного графита с покрытием после первых 2 часов выдержки при температуре 800 °С, на торцевых поверхностях образцов, защищенных при помощи термостойкой эмали, начали появляться

кольцевые трещины, которые в ходе последующих испытаний привели сначала к отслоению эмали с торцов образцов, а затем и частичному разрушению покрытия на их боковых поверхностях.

Вследствие нарушения целостности эмали на торцах образцов электродного графита с защитным покрытием, а также малой суммарной продолжительности испытаний на жаростойкость на их поверхности были определены лишь отдельные участки сформировавшейся оксидной пленки, позволяющей снизить окисление графита, что и обуславливает высокие показатели потери массы образцов с покрытием из опытной порошковой проволоки – 66,37 г/(м²ч), которые, однако, ниже, чем у контрольного образца графита без покрытия – 125,37 г/(м²ч).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bowman B. Optimum use of electrodes in arc furnaces // Metallurgical Plant and Technology 6 (1). 1983. P. 30–39.
2. Храпко С.А и др. Производство стали в ДСП: конспект лекций // Донецкий национальный технический университет. 136 с.
3. Palm M. et al. Strengthening of iron aluminide alloys for high-temperature applications // Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 2005. Vol. 842.
4. Guilemany M. An overview of intermetallics research and application: Status of thermal spray coatings // Journal of Materials Research and Technology. 2013. Vol. 2. Issue 1. P. 75–86.
5. Cinca N. et al. Thermal spraying of transition metal aluminides: An overview // Intermetallics. 2012. Vol. 24. P. 60–72.
6. Ju Rong et al. Al₂O₃/FeAl interfacial behaviors by yttrium doping in high temperature oxidation // Ceramics International. 2019. Vol. 45. Issue 17. Part A. P. 22273–22280.
7. Xingwei MA et al. Effect of La₂O₃ on microstructure and high-temperature wear property of hotpress sintering FeAl intermetallic compound // Journal of Rare Earths. 2009. Vol. 27. Issue 6. P. 1031–1036.
8. Hong-QinYang et al. Effect of Nb addition on structure and mechanical properties of FeAl coatings // Surface and Coatings Technology. 2015. Vol. 270. P. 221–226.
9. Peng L.M. et al. High strength and high fracture toughness ceramic–iron aluminide (Fe₃Al) composites // Materials Letters. 2006. Vol. 60. Issue 7. P. 883–887.
10. Tian Haoliang et al. Influence of Ni and Cr on the high-temperature wear resistance of FeNiCrAl coatings // Results in Physics. 2019. Vol. 12. P. 959–969.
11. Bin Yi et al. Microstructures and properties of plasma sprayed FeAl-CeO₂-ZrO₂ nano-composite coating // Applied Surface Science. 2010. Vol. 256. Issue 13. P. 4176–4184.

12. Wang Y. et al. The effect of CeO₂ on the erosion and abrasive wear of thermal sprayed FeAl intermetallic alloy coatings // *Wear*. 2006. Vol. 261. Issues 11–12. P. 1201–1207.
13. Janda D. et al. The effect of micro-alloying with Zr and Nb on the oxidation behavior of Fe₃Al and FeAl alloys // *Intermetallics*. 2013. Vol. 41. P. 51–57.
14. Xu Weipu et al. Erosion-Corrosion Behaviors of High Velocity Arc Sprayed Fe-Al/Cr₃C₂ Coating // *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.* 2006. Vol. 21. P. 29–31.
15. Borisov Yu.S. et al. Heat-resistant thermal coatings based on FeAlCr intermetallics with CeO₂ additives // *Automatic Welding*. 2019. No. 9. P. 31–39.
16. Haoliang Tian et al. Phase composition and formation mechanisms of a high-velocity electric arc sprayed FeNiCrAl coating // *Journal of Alloys and Compounds*. 2018. Vol. 769. P. 998–1006.
17. Binshi Xua et al. Sliding wear behavior of Fe-Al and Fe-Al/WC coatings prepared by high velocity arc spraying // *Wear*. 2004. Vol. 257. P. 1089–1095.
18. Haoliang Tian et al. Study of the frictional-wear performance and abrasion resistance mechanism of a high-speed arc-sprayed FeNiCrAl coating // *Surface and Coatings Technology*. 2019. Vol. 370. P. 320–330.
19. Xu B.-S. et al. The Microstructure and High Temperature Sliding Wear Behavior of Fe-Al Coating.
20. Самсонов Г.В., Виноцкий И.М. Тугоплавкие соединения: справочник. 2-е изд. М.: Металлургия, 1976. 560 с.
21. Нодрюхин А.Д. и др. Повышение термостойкости изделий из терморасширенного графита // *Изв. вузов. Химия и хим. Технология*, 2021. Т. 64. Вып. 8. С. 49–56.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Новоточинов А.П., Макаров А.В., Владимиров А.А.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)

ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»

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

alexander.nowotochinov@yandex.ru, +7 (999) 607-97-69

Аннотация. В данной статье исследовался вопрос работоспособности деталей, работающих в условиях длительных циклических и термомеханических нагрузок. Были рассмотрены требования, которым должны соответствовать металлургические и механические свойства этих деталей. Также рассмотрены условия работы роликов МНЛЗ, причины выхода их из строя, методы и материал для их восстановления.

Ключевые слова: циклические нагрузки; знакопеременные нагрузки; ролики; наплавка; восстановление.

INVESTIGATION OF PARTS OPERATING UNDER LONG-TERM CYCLIC AND THERMOMECHANICAL LOADS

Novotochinov A.P., Makarov A.V., Vladimirov A.A.

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

microdistrict them. Makarenko, 42, alexander.nowotochinov@yandex.ru, +7 (999) 607-97-69

Abstract. In this article, the issue of operability of parts operating under conditions of prolonged cyclic and thermomechanical loads was investigated. The requirements that the metallurgical and mechanical properties of these parts must meet were considered. The conditions of operation of the rollers of the MNLZ, the reasons for their failure and methods and material for their restoration are also considered.

Keywords: cyclic loads; alternating loads; rollers; surfacing; restoration.

В современных условиях работы металлургического оборудования особое место отводится к повышению производительности выпускаемой продукции путем увеличения межремонтного времени работы оборудования. Достижение поставленной цели осуществляется путем модернизации работающих узлов. Для того, чтобы модернизировать

работающий узел необходимо досконально изучить условия работы механизма, факторы, влияющие на износ узла, а также детали, которые требуют улучшенного качества в процессе работы.

Особое внимание требуют детали, которые работают при знакопеременных нагрузках [1]. К такой категории относятся детали, работающие в различных отраслевых промышленности. В автомобилестроении – коленчатые валы, детали подвесок и кузовов, в железнодорожном транспорте – оси колесных пар, металлургии – барабаны и ролики конвейеров, дробящий конус дробилки и др., а также ролики МНЛЗ и ТПМ, на которые воздействуют еще и повышенные температуры. Ввиду того, что исследования всех деталей, работающих в знакопеременных нагрузках, не представляется возможным, возьмем в предмет исследования ролики МНЛЗ и ТПМ.

Требования, которые предъявляются к рабочим роликам МНЛЗ и валкам прокатных станов:

- хороший захват полосы, позволяющий достигать большого обжатия за проход без пробуксовок и, вследствие этого, увеличение производительности и уменьшение потерь тепла;
- высокая устойчивость бочки вала (ролика) к износу, термической усталости и окислению, что обеспечивает однородный износ, увеличивает длительность прокатки и уменьшает простои;
- высокие жаростойкость и устойчивость к образованию трещин разгара, предотвращающих повреждение в результате приварки подката к валку (ролику);
- хорошее качество поверхности вала в течение длительного периода вследствие отсутствия шелушения поверхности, отслаивания и микросколов в ходе работы;
- высокую надежность роликов (валков) в эксплуатационных условиях, включая неполадки на стане, высокие тепловые и механические нагрузки [2].

Ролики поддерживающих и разгибающих узлов работают в тяжелом температурном режиме. Температура поверхности слитка, на данной зоне превышает 900 °С. При температуре до 1200 °С, выходящей из кристаллизатора непрерывно литой заготовки, вследствие теплового воздействия на ролики максимальная температура поверхности роликов может достигать 900 °С и более, а градиент температур на поверхности ролика в диаметрально противоположных точках может достигать до 280 °С

Ролики МНЛЗ эксплуатируют в условиях длительных циклических и термомеханических нагрузок. По данным [3] ролики зон изгиба и правки работают в тяжелом температурном режиме, максимальная температура поверхности роликов может достигать

670...750 °С. Ролики воспринимают усилия вследствие выпучивания сляба под действием ферростатического давления и усилия при правке слитка.

На горизонтальном участке ролики подвергаются абразивному изнашиванию. Разрушение рабочей поверхности роликов проявляется в виде изнашивания поверхностного слоя и образования трещин разгара.

Ведущим фактором разрушения роликов является термическая усталость рабочей поверхности. Трещины термической усталости на поверхности возникают после определенного числа термических циклов [4]. Являясь концентраторами напряжений, они способствуют распространению трещин вглубь тела ролика с последующим слиянием их в магистральную трещину, вызывая разрушение ролика.

Поддерживающие, обжимающие и тянущие ролики – основной технологический инструмент при непрерывной разливке стали в УНРС. В составе одной УНРС работает до 80 роликов. Ролики УНРС имеют длину до 3,5 м, диаметр до 400 мм, массу до 2 т. Они изготовлены из теплоустойчивой хромомолибденованадиевой стали 24ХМ1Ф (ГОСТ 20072–74), высокие жаропрочные свойства которой обусловлены выделением высокотемпературных карбидов ванадия ($T_{пл} = 2800\text{ °С}$), стабилизирующих карбидную фазу [5].

Особенностью условий эксплуатации роликов системы вторичного охлаждения УНРС является длительное циклическое термомеханическое нагружение в условиях воздействия агрессивной среды. Имеется три основных фактора, которые неблагоприятно влияют на продолжительность работы роликов. Первый фактор – повышенная рабочая температура поверхности: у тянущих роликов она достигает 500 °С, а у роликов, входящих в поддерживающие и разгибающие секции, – 670...750 °С. Этот тепловой режим обеспечивается нагревом вследствие контакта с горячим металлом и охлаждением проточной водой, проходящей в центральном отверстии ролика, а также струями воды на сляб-ленту и поддерживающие ролики. При повреждении системы внутреннего охлаждения ролика происходит его перегрев и ускоренный выход из строя.

Температура поверхностного слоя роликов вдоль образующей при входе в контакт со сляб-лентой в зоне кристаллизатора, имеющей температуру 1400...1500 °С, повышается, а при выходе из контакта в результате поворота ролика несколько снижается. Средняя температура ролика составляет 400...500 °С. Цикличность колебания температуры зависит от скорости движения сляб-ленты (0,5...6,0 м/ч) и скорости вращения роликов (0,4 и 10,0 об/мин при диаметре 180 и 400 мм соответственно).

Второй фактор – силовой. Он создается изгибающими моментами от распределенной нагрузки в виде давления столба жидкого металла и при изгибе сляб-ленты, а также крутящим моментом тянущих роликов. В пересчете на сосредоточенную нагрузку в центре длины бочки

ролика усилие изгиба достигает 16 т. Вращение роликов вызывает знакопеременные напряжения с частотой, равной частоте вращения.

Третий фактор, осложняющий работу роликов – охлаждающая водяная среда, образующаяся в результате непрерывного струйного охлаждения водой внутренней части ролика (рис. 1). При контакте с горячим металлом образуется водяной пар, после чего частично диссоциирует, образуя водород и кислород, а также выделяет другие примесные элементы, входящие в состав воды (Cl, S и др.), что создает слабоагрессивную среду в результате чего на внутренней поверхности ролика и в водяных каналах образуется слой накипи, что приводит к недостаточному охлаждению и к перегреву ролика. Несмотря на это в работе ролика возникает большой перепад температуры на поверхности ролика из-за теплопередачи от сляб-ленты к ролику в момент касания, а также от конвективно-лучевого переноса тепла на ролик, и охлаждения с противоположной части ролика, что приводит к уменьшению предела текучести и прочности образца.

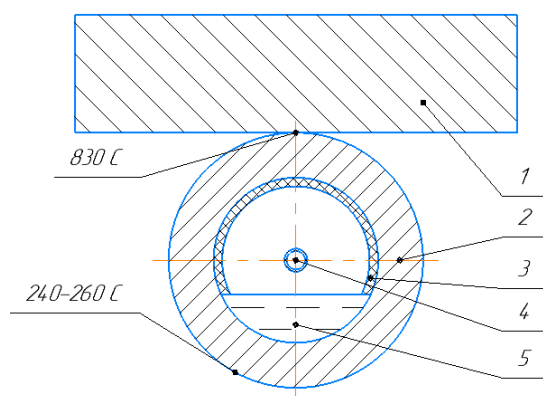


Рис. 1 – Схема работы ролика в разрезе: 1 – сляб-лента; 2 – ролик; 3 – накипь на внутренней стенки ролика; 4 – водяной канал; 5 – охлаждающая жидкость

В [2, 7] установлено, что одной из причин поломки роликов связано с замедлением разливки до скоростей 0,1...0,2 м/мин, что способствует повышению температуры рабочей поверхности ролика. С помощью лазерного пирометра выявлено: скорость 0,1 м/мин – 620 °С, 0,2 м/мин – 500 °С, остановка машины – 800 °С.

Температурный предел для нормальной работы роликов МНЛЗ (из стали 25Х1МФ) 540 °С. После его превышения снижаются механические свойства, возрастают осевые температурные напряжения, приводящие к деформации роликов и возникновению в них поперечных трещин. Кроме того, при температуре 800 °С отмечено появление сетки разгара, приводящей в итоге к появлению брака.

Сложные условия работы приводят к преждевременному возникновению дефектов на поверхности роликов, что отражается на качестве непрерывно-литой заготовки. Слиток может иметь нежелательные закаты, наддавы, царапины. Дефекты роликов часто являются причиной их поломки в процессе эксплуатации, что вызывает деформацию и прорыв корочки твердого жидкого слитка. В этом случае выполняется незапланированная остановка УНРС и последующий ее дорогостоящий ремонт.

Ролики МНЛЗ демонтируются с МНЛЗ из-за [6, 7]: деформации или поломки ролика, сползания бандажей с осей, появления и развития трещин на поверхности бочки ролика, образования сетки разгара, отслоения фрагментов наплавленного слоя, чрезмерного износа, разрушения или заклинивания опорных подшипников. Вид отказов роликов существенно зависит от того, на каком участке МНЛЗ и в каких блоках или секциях они смонтированы.

Жизненный цикл ролика МНЛЗ, эксплуатирующегося с наплавкой, состоит из следующих этапов: изготовление, переточка (2-3 раза), наплавка (до 3 раз).

В настоящее время на ОЭМК восстановление рабочей поверхности роликов, изготовленных из стали 20Х13 происходит наработанным методом. Перед наплавкой ролики протачивают на токарном станке так, чтобы получить цилиндрическую поверхность с наибольшей площадью для наплавки. Далее происходит процесс наплавки ролика наплавочной проволокой из стали марки 25Х5ФМС под соответствующим флюсом (таблица 1.)

Таблица 1 – Составы применяемых наплавочных материалов

№ образца	Наплавочный материал	Состав, %	Флюс	Состав, %
	Материал ОЭМК ПП-Нп-25Х5ФМС ГОСТ 26101-84	Fe - основа 0 C P	Флюс АН-20 С	SiO ₂ 19-24%, MnO ≤0,5, CaO 3-9, MgO 9-13, Al ₂ O ₃ 27-32

После наплавки, процессе работы роликов МНЛЗ из-за температурных воздействий происходит их частичный отпуск, что ухудшает их механические свойства.

Происходит отслоение наплавленного слоя от основной массы ролика, это связано с тем, что глубина залегания максимальных результирующих напряжений приходится на переходный слой, который характеризуется низкими механическими свойствами. Для увеличения срока службы роликов МНЛЗ требуется углубленный анализ и исследование

исходного материала, а также подбор более качественного наплавочного материала для работ по восстановлению роликов [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудюк А.С., Бардусов В.Н., Фока Н.М., Пирч А.П., Дука И.А. Увеличение эксплуатационной стойкости прокатных валков стана 650 // *Сталь*. 1990. № 7. С. 71–72.
2. Будагьянц Н.А., Жижкина Н.А. Особенности формирования структуры и свойств рабочего слоя прокатных валков // *Литейное производство*. 2004. № 9. С. 9–10.
3. Красильников С.Г., Окунев Ю.В., Пантелеймонов В.А., Шаповалов К.П., Орлов Л.Н., Голякевич А.А. Применение порошковой проволоки ООО «ТМ ВЕЛТЕК» в производстве металлоконструкций ЗАО «НКМЗ» // *Сварщик*. 2007. № 1 (53). С. 6–9.
4. Кащенко Ф.Д. Восстановление наплавкой роликов МНЛЗ // *Металлургические машины и процессы (теория и практика): Сборник научных трудов*. Магнитогорск: МГТУ, 1998. С. 13–16.
5. Якушин Б.Ф., Цирков П.А. Особенности технологии дуговой наплавки роликов для установок непрерывной разливки сталей // *Сварка и диагностика*. 2009. № 5. С. 35–40.
6. Чичко А.Н., Андрианов Н.В., Демин А.В. и др. Численное моделирование температур и напряжений в слитке при плоскофакельном и круглофакельном вторичном охлаждении // *Сталь*. 2004. № 10. С. 20–23.
7. Боровиков И.В., Городецкий М.А., Киселев В.Д., Якименко В.Н. Изучение эксплуатационных свойств и причин преждевременного выхода из строя роликов и роликовых блоков МНЛЗ ОАО «ММК» // *Состояние и перспективы развития научно-технического потенциала Южно-уральского региона. Межгосударственная научно-техническая конференция. Metallurgy. Магнитогорск*, 1994. С. 36–37.
8. Березовский А.В. Наплавочные материалы для упрочнения роликов МНЛЗ // *Инновации в материаловедении и металлургии: материалы I международной интерактивной научно-практической конференции*. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. Ч. 1. С. 34–37.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ

Шаповалов А.И.¹, Макаров А.В.¹, Владимиров А.А.¹, Труфанов И.А.²

¹Старооскольский 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

²ООО «Центр Упрочнения «МЕТАЛЛРЕСУРС»

309516, г. Старый Оскол, микрорайон Конева, 13

52gra@mail.ru

Аннотация. Рассмотрено применение тонкопленочных алмазоподобных износостойких нанопокровов на штампах для холодной штамповки с целью повышения стойкости. Представлена информация по свойствам покрытия и результатам промышленных испытаний.

Ключевые слова: алмазоподобное покрытие; штамп; холодная штамповка; износостойкость.

APPLICATION OF THE TECHNOLOGY OF APPLICATION OF THIN FILM DIAMOND-LIKE WEAR-RESISTANT COATINGS TO INCREASE THE RESISTANCE OF PUNCHING TOOLS

Shapovalow A.I.¹, Makarov A.V.¹, Vladimirov A.A.¹, Trufanov I.A.²

¹Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST MISIS, Russia, Stary Oskol

²LLC «Center of Strengthening «METALLRESURS»

Abstract. The use of thin-film diamond-like wear-resistant nanocoatings on dies for cold stamping in order to increase durability is considered. Information on coating properties and industrial test results is provided.

Keywords: diamond-like coating; die; cold stamping; wear resistance.

Обработка давлением, в большинстве своем, металлосберегающая и высокопроизводительная технология. В настоящее время для производства заготовок обработке давлением подвергают до 85 % различных сталей и до 60 % цветных металлов.

Примерно 90 % деталей любой современной машины изготавливают с применением операций обработки давлением, в частности, штамповкой [1].

Повышение производительности труда, улучшение качества и эксплуатационных характеристик деталей являются важнейшими задачами штамповочного производства. В последние годы появилось большое число новых способов и устройств, использование которых позволяет значительно поднять технический уровень производства. Намечились основные направления интенсификации формоизменяющих операций, позволяющие сократить число переходов штамповки, номенклатуру оснастки и оборудования, изготавливать цельноштамповочные детали взамен штампованных, исключить последующую механическую обработку, значительно повысить прочность, жесткость и точность деталей. Развитие машиностроения и металлообработки требует дальнейшего совершенствования технологических процессов и методов расчета и производства штампов [2].

Обеспечение длительной эксплуатации штампового инструмента с сохранением геометрических параметров рабочих поверхностей является актуальной задачей. Повышенная стойкость инструмента позволяет увеличить выпуск продукции при сохранении точности и внешнего вида деталей, сократить количество операций текущего контроля качества изготавливаемых деталей, снизить число остановок оборудования. Наиболее важным фактором является сокращение стоимости применяемого инструмента (за счет уменьшения количества изготавливаемых новых дублеров), которая может составлять от 20 до 50% от общей стоимости часовой эксплуатации штамповочного оборудования.

Для проведения эффективных мероприятий по увеличению работы штампового инструмента, в частности, для холодной штамповки, необходимо учитывать все факторы, влияющие на их работу. Это физико-механические, химические, а также технологические и экономические факторы эксплуатации и обслуживания инструмента холодной штамповки.

Штампы холодного деформирования работают в условиях высоких знакопеременных динамических нагрузок, которые сопровождаются изнашиванием и значительным нагревом рабочих частей.

Основные причины выхода из строя инструмента: 1) Хрупкое разрушение от высоких и переменных действующих напряжений, малоцикловая усталость, 2) Изменение формы и размеров штампов в результате абразивного, ударно-абразивного износа, 3) Изменение формы и размеров штампов в результате деформации, смятия.

Особенности эксплуатации штампов холодного деформирования определяют основные требования, предъявляемые к рабочим элементам штампов: 1) повышенная твердость HRC 54-64 и износостойкость; 2) высокое сопротивление малым пластическим

деформациям, удовлетворительная прочность и вязкость; 3) малоцикловая выносливость и достаточная теплостойкость – 450 °С при жестких условиях штамповки [3].

В зависимости от вида операций, свойств штампуемого материала, состояния оборудования и других факторов роль каждого из перечисленных свойств может изменяться. Поэтому для штампов в зависимости от их назначения, формы и размеров необходимо выбирать методы увеличения стойкости.

Основными операциями холодного деформирования являются объемная и листовая штамповка. В зависимости от частных видов объемной и листовой штамповки некоторые авторы выделяют следующие воздействующие на инструмент факторы [4].

Для объемной штамповки следует выделить несколько операций и соответствующих им типов инструмента и видов нагружения:

1. Штампы для высадки. При холодной высадке инструмент деформирует материал одним ударом. Пуансон выдавливает свою форму в металле, находящемся в матрице. Между рабочей поверхностью матрицы, деформируемым материалом и пуансоном возникает значительное трение и износ инструмента. Температурные условия работы инструментов меняются в широком диапазоне в зависимости от средней скорости, степени деформации, объема деформируемого материала и его прочностных характеристик.

2. Штампы для прессования, выдавливания. Деформация материала выдавливанием, прессованием – это высокопроизводительный процесс, при котором изготавливают прутковые и полые тела с размером большой точности и высоким качеством поверхности. В закрытом пространстве в матрице пуансон подвергает исходную заготовку давлению, когда металл оказывается в состоянии почти гидростатического сжатия и вызывает чрезвычайно большие силы порядка 1000-3500 МПа. Возникающее при высоком давлении между формируемым материалом и инструментом трение вызывает сильный нагрев и износ инструмента [5]. Для снижения трения инструмент следует полировать, а во время работы смазывать. Матрица, помимо изнашивающего воздействия, обусловленного трением, подвергается также сложным всесторонним нагрузкам, повторяющимся в каждом цикле деформации.

3. Накатной инструмент. Накатные ролики и плашки работают при высоких нагрузках и вместе с тем в отличие от большинства пуансонов для прессования имеют тонкую рабочую кромку, в основании которой возникают повышенные изгибающие усилия. Врезание в обрабатываемый металл и выход из него сопровождается ударом.

4. Чеканочные штампы. Инструменты для чеканки монет и медалей также подвергаются большому поверхностному давлению и изнашивающему воздействию, которые работают обычно без заусенцев. В результате многочисленных и сильных ударов кромки инструмента наклепываются и выкрашиваются.

5. Гибочно-рихтовочные штампы. Формующие поверхности гибочного инструмента имеют форму детали, получаемой в результате гибки. Вследствие перемещения, скольжения материала по поверхности инструмента возникает значительное трение, вызывающее изнашивание рабочих кромок, особенно матрицы. Кроме того, инструмент испытывает большие сжимающие и изгибающие нагрузки. Гибочные инструменты могут иметь длину в несколько метров.

Для листовой штамповки следует выделить в свою очередь несколько операций и соответствующих им типов инструмента и видов нагружения:

1. Вырубка и пробивные инструменты.
2. Вытяжные штампы.
3. Ножницы и ножи для резки.

Вырубные и пробивные инструменты разделяют материал вдоль замкнутой линии сложной конфигурации с высоким качеством поверхности толщиной от десятых мм до 100 мм. На первой стадии вырубки пуансон давит на вырубаемый материал, а на второй стадии режущие кромки врезаются в него. Возникающие при вырубке силы среза подвергает пуансон сжатию и продольному изгибу, а матрицу сжатию и поперечному изгибу. Большое сжатие вдоль кромки приводит к затуплению, а растягивающие силы – к выкрашиванию. К этому следует добавить, что нагрузки эти - циклические и знакопеременные, большей частью динамические, вызывающие усталость материалов. Обычно тяжелее всего переносят сложные нагрузки пуансоны малого диаметра. Осевые сжимающие силы зависят от сопротивления сдвигу вырубаемого материала и могут достигнуть пятикратного значения прочности, т. е. 3000-5000 МПа. Из-за вибрации ползуна прессы возникает циклическая нагрузка, как при прямом, так и при обратном ходе. Вследствие трения под воздействием большого поверхностного сжатия происходит значительное изнашивание и разогрев поверхности. Вытяжные инструменты можно подразделить на две группы: инструменты глубокой вытяжки и инструменты вытяжки проволоки, прутков и труб. В процессе вытяжки, а также при удалении полого тела из инструмента между контактирующими поверхностями возникает трение, приводящее к износу и нагреву инструмента до 2000 °С. Износ проявляется, главным образом, в увеличении размера вытяжного кольца матрицы. Износ пуансона менее значителен, но способствует образованию царапин и вырывов на поверхности полого изделия. Трение и износ можно снизить обработкой поверхности деформируемого материала и применением смазочных масел, а также употребляя инструмент с гладкой и износостойкой поверхностью. В вытяжном кольце помимо радиального сжимающего напряжения возникает также циклическое тангенциальное растягивающее напряжение, (они распирают кольцо).

Следовательно, материал вытяжного кольца должен также противостоять повторяющимся растягивающим напряжениям.

С целью увеличения ресурса инструмента для холодной штамповки и с учетом всех выше перечисленных особенностей эксплуатации применяют новые материалы, новые режимы термической и химико-термической обработки, электроискровое легирование, наплавку и различные разновидности напыления. Несмотря на очевидные преимущества данных методов существует ряд факторов, которые или влияют на повышение себестоимости изготовления или ремонта штампа, либо вообще не позволяют применить их для достижения поставленной цели по увеличению ресурса. К таким факторам относятся повышенное температурное воздействие, использование дорогостоящих присадочных материалов и проведение последующей механической обработки (чаще всего абразивной).

Как уточнялось выше уже, для каждого вида операции холодной штамповки существуют свои факторы воздействия и ограничивающие применение технологий упрочнения условия.

Например, пуансоны для вытяжки из стали У10 или У10А из-за низкой температуры отпуска данных сталей невозможно упрочнить с применением технологий, применение которых подразумевает температурное воздействие.

Или, например, элементы кластерного (беззазорного) штампа имеют малые габариты, толщину формообразующих элементов около 1-2 мм, малые технологические зазоры между матрицей и пуансоном. Это не позволяет применить наплавку или напыление, а также методы, которые приводят к короблению элементов штампов. Общемировая тенденция миниатюризации изготавливаемых изделий привела к разработке и созданию функциональных покрытий микронной толщины, наносимых на финишной стадии изготовления деталей с использованием физических и химических методов осаждения из газовой и паровой фаз. Детали с такими покрытиями могут эффективно противостоять многочисленным эксплуатационным нагрузкам, в том числе наиболее агрессивному абразивному изнашиванию [6].

Следует также отметить, что большинство технологий осаждения являются камерными методами. Это ограничивает их применение. Так как многие штампы имеют значительные габариты, то нанесение покрытий в камерах или не возможно, или требует применения камер больших размеров, что сказывается на стоимости. Также при нанесении покрытия в камерах необходимо разобрать штампы для того, чтобы исключить нанесение покрытия на элементы, нанесение на которых покрытия нецелесообразно или повлияет на его работоспособность (подвижные элементы, пружины, прокладки и т.д.). Или провести мероприятия по защите (экранированию) не подлежащих покрытию участков.

Наиболее перспективными являются разработки для решения поставленной задачи с учетом ограничений основанные на использовании тонкопленочных покрытий, наносимых на заключительной стадии изготовления штампового инструмента с минимальными тепловложениями и обеспечивающими возможность локального нанесения покрытия. Ярким примером такой технологии является технология финишно-плазменного упрочнения (ФПУ).

Этот процесс ФПУ предназначен для модификации поверхности путем осаждения функциональных покрытий с применением электродугового плазмотрона постоянного тока, дополненного малогабаритным плазмохимическим реактором. В результате формируется покрытие системы Si-O-C-B-N. Метод ФПУ не требует вакуума и осуществляется при обычных атмосферных условиях, что предопределяет малые энергозатраты и габаритные размеры плазмотрона. В качестве плазмообразующего газа применяется аргон, который обеспечивает повышенную долговечность и надежность элементов оборудования при длительном ведении процесса. Для образования покрытия используются пары летучих жидких реагентов, подача которых в плазмохимический реактор осуществляется специальным жидкостным дозатором. Источником питания плазмотрона служит инвертор постоянного тока со специальной вольтамперной характеристикой. Для стабильного охлаждения реактора, плазмотрона и других элементов оборудования используется модуль автономного охлаждения. Система мониторинга процесса обеспечивает управление и контроль параметров режима, а также определение толщины наносимого покрытия в процессе его осаждения. Плазменная струя, истекающая из электродугового плазмотрона, обеспечивает оптимальную теплопередачу в обрабатываемый материал для гетерогенного формирования покрытия на поверхности детали, локальность воздействия в сочетании с широкой зоной охвата за счет программируемого перемещения, возможность упрочнения деталей в любом пространственном положении, а также маневренность плазмотрона с плазмохимическим реактором. Применение дугового разряда между электродами, находящимися внутри плазмотрона, обеспечивает отсутствие воздействия ультрафиолетового излучения на оператора, а минимальный расход паров исходных жидких реагентов осуществляется при полном их разложении в процессе формирования покрытия, что определяет экологичность процесса. В процессе нанесения формируется упрочняющее покрытие в виде прозрачной пленки, которая на полированной поверхности имеет вид интерференционной картины с радужными оттенками от фиолетово-голубого до зелено-красного в зависимости от толщины покрытия. Покрытия, наносимые на металлические подложки методом ФПУ, имеют толщину не более 2 мкм. Ограничение по толщине связано с тем, что коэффициент теплопроводности покрытий существенно меньше, чем материала металлической подложки.

Обоснованность применения технологии ФПУ достаточно подробно и объемно приведена в работах ряда авторов, в том числе и для применения упрочнения рабочих элементов штамповой оснастки [7-11].

На сегодняшний день данная технология реализуется всего двумя организациями: ООО «Плазмацентр» г. Санкт-Петербург и ООО «ЦУП «МЕТАЛЛОРЕСУРС» г. Старый Оскол, которые накопили достаточно большой опыт применения её для увеличения ресурса штамповой оснастки для холодной штамповки. Имеющиеся отзывы от предприятий РФ, направленные в адрес ООО «ЦУП «МЕТАЛЛОРЕСУРС», указывают на высокую эффективность данной технологии и сформированного покрытия:

1. Обрезные и вырубные штампы (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1 – Пуансон (а) и матрица (б) после нанесения покрытия ФПУ

Штампуемый материал – высоколегированные стали.

После нанесения покрытия на кромки пуансонов и матриц стойкость увеличилась в 3,3 раза.

2. Гибочный штамп (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2 – Пуансон (а) и матрица (б) гибочного штампа после нанесения покрытия ФПУ

Штампуемое изделие – «Лепесток смесителя», материал – аустенитные никель-хромовые жаропрочные сплавы.

После нанесения покрытия на кромки пуансонов и матриц стойкость увеличилась в 8 раз.

3. Пуансоны вытяжки гильзового производства (рис. 3).



Рис. 3 – Пуансоны вытяжки после нанесения покрытия

Штампуемый материал – биметаллический материал (латунь-сталь), применяемый для производства гильз. Материал пуансонов – сталь У10А.

После нанесения покрытия стойкость пуансонов повысилась в 2,2 раза.

4. Кластерные (безззорные) штампы (рис. 4).



а)



б)

Рис. 4 – Пуансон (а) и матрица (б) кластерного штампа после нанесения покрытия ФПУ.

Выводы

1. Нанесение тонкопленочного износостойкого алмазоподобного нанопокрyтия методом финишно-плазменного упрочнения на штампах для холодной штамповки позволяет повысить их стойкость.
2. Технология позволяет локально наносить покрытие, что позволяет снизить стоимость нанесения покрытия и упрочнять штампы любых размеров и из материалов с низкой температурой отпуска.
3. Учитывая, что стоимость нанесения покрытия составляет до 20% от стоимости штампа, при одновременном увеличении стойкости в разы, можно утверждать, что в период глобального сокращения производственных издержек применение данного покрытия будет экономически оправдано и обосновано.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Килов А.С., Килов К.А. Производство заготовок. Листовая штамповка: серия учебных пособий из шести книг. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. Кн. 2. 182 с.
2. Кокорин В.Н., Мертенс К.К., Титов Ю.А., Григорьев А.А. Технологические расчеты в процессах холодной листовой штамповки: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2002. 36 с.
3. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983. 525 с.
4. Околович Г.А. Штамповые стали для холодного деформирования металлов: монография. 2-е изд., перераб. и доп. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. 202 с.
5. Позняк Л.А., Скрипченко Ю.М., Тишаев С.И. Штамповые стали. М.: Металлургия, 1980. 243 с.
6. Тополянский П.А., Ермаков С.А., Тополянский А.П. Исследование структуры и элементного состава поверхности металла после финишного плазменного упрочнения // Металлообработка. 2020. № 3 (117). С. 35–46.

7. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. СПб: Изд-во Политехнического Университета, 2008. 406 с.
8. Тополянский П.А., Ермаков С.А., Тополянский А.П. Выбор покрытия при финишном плазменном упрочнении на основе механизмов изнашивания деталей и инструмента // Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика: сборник трудов 18-й Международной научно-практической конференции. 2016. С. 115–126.
9. Шаповалов А.И., Труфанов И.А. Повышение стойкости режущего инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов за счет нанесения при атмосферном давлении тонкопленочных покрытий // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: сборник трудов XVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Старый Оскол. 2020. С. 246–253.
10. Тополянский П.А., Ермаков С.А., Тополянский А.П. Упрочнение разделительных штампов тонкопленочными покрытиями // Кузнечно-штамповочное производство. 2015. № 7. С. 27–39.
11. Тополянский П.А., Ермаков С.А., Тополянский А.П. Повышение стойкости инструмента для холодной объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. 2015. № 3. С. 22–32.

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ СЛОЯ, СТОЙКОГО К АБРАЗИВНОМУ ИЗНАШИВАНИЮ

Шаповалов А.И., Макаров А.В., Владимиров А.А.

*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. Рассмотрено применение самозащитной наплавочной проволоки TeroMatec 4601 для защиты от абразивного износа. Дана оценка возможности применения критерия соотношения твердости наплавленного и абразивного материалов для оценки уровня повышения стойкости деталей оборудования. С применением метода Бринелля-Ховарта получено экспериментальное подтверждение этому при использовании проволоки TeroMatec 4601.

Ключевые слова: электродуговая наплавка; твердость покрытия; абразивная износостойкость; самозащитная наплавочная проволока.

FORMATION BY THE METHOD OF ELECTRIC ARC SURFACING OF A LAYER RESISTANT TO ABRASIVE WEAR

Shapowalow A.I., Makarov A.V., Vladimirov A.A.

*Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS», Russia, Stary Oskol,
microdistrict them. Makarenko, 42, tomm_sti_misis@mail.ru, +7 (4725) 45-12-00 ext. 240*

Abstract. Application of self-shielded surfacing wire TeroMatec 4601 for protection against abrasive wear is considered. An assessment is made of the possibility of applying the criterion of the ratio of hardness of deposited and abrasive materials to assess the level of increasing the resistance of equipment parts. Using the Brinell-Howarth method, experimental confirmation of this was obtained using the TeroMatec 4601 wire.

Keywords: electric arc surfacing; coating hardness; abrasive wear resistance; self-shielded surfacing wire.

Введение

Конкурентоспособность промышленных предприятий зависит от производительности и надежности используемого промышленного оборудования, эффективность оборудования

или промышленного комплекса — от технологических перерывов или аварийных остановок на плановый и аварийный ремонт. В наибольшей степени это обусловлено износом оборудования. Период работы оборудования зависит от ресурса всех деталей, входящих в него. Детали, подвергающиеся интенсивному износу, как правило, имеют короткий период эксплуатации, что сильно снижает общий ресурс оборудования и вызывает плановые остановки [1]. Повышение износостойкости и срока службы машин — важная задача науки и производства.

В процессе эксплуатации поверхностные слои высоконагруженных деталей подвергаются наиболее сильному механическому, тепловому, химическому и некоторым другим видам воздействий. На характер износа, прежде всего, оказывают влияние: свойства контактирующих материалов и качество трущихся поверхностей, взаимные перемещения и характер движения (скольжение, качение, течение, удары, и др.), температура в зоне контакта и величина нагрузки [2]. Одними из наиболее значимых факторов, влияющих на характер износа и его интенсивность, а, как следствие, и ресурс работы оборудования в целом, является наличие абразивного и гидроабразивного износа. В настоящее время различают следующие виды механического взаимодействия абразива с трущимися деталями [2]: скольжение детали по монолитному абразиву, качение детали по абразиву, соударение с частицами абразива, соударение детали с монолитным абразивом, воздействие потока абразивных частиц на поверхность детали (гидро- и газоабразивный износ), скольжение детали в массе абразивных частиц и трение сопряженных деталей в контакте с абразивными частицами.

Процессу абразивного изнашивания посвящены работы М.М. Хрущова, М.А. Бабичева, В.Н. Виноградова, Г.М. Сорокина, М.М. Тененбаума, А.В. Чичинадзе [2] и других, а гидроабразивного изнашивания — работы Д.М. Гаркунова, А.В. Семенова, Г.Е. Лазарева и других [3–5]. Результаты испытаний на абразивный износ, приведенные рядом авторов, показывают [6], что повышение твердости металла сопровождается увеличением его износостойкости, однако при одинаковой твердости металлов износ зависит от их структуры. Наилучшая износостойкость достигается в металлических материалах, обладающих высоким сопротивлением сжатию и сдвигу и хорошим молекулярно-механическим сцеплением между структурными составляющими. Высокая твердость такого материала также должна сочетаться с хорошей вязкостью без признаков охрупчивания. Кроме того, материал должен иметь хорошую теплопроводность, небольшое различие коэффициентов термического расширения фазовых составляющих, высокую степень легирования твердого раствора и равномерное распределение легирующих элементов. Комплекс таких часто противоречивых свойств можно получить лишь в гетерофазных композиционных материалах или покрытиях. В работах перечисленных авторов предложены некоторые критерии износостойкости. Факторами,

определяющими износостойкость, являются: отношение твердости металла к твердости абразива (критерий K_m), соотношение размера армирующей фазы (Rф) и критичного размера абразива (Rкра), а также механические свойства различных структурных фаз [7]. При этом многими авторами дополнительно указывается на необходимость учитывать конструктивные особенности упрочняемых элементов.

Несмотря на то, что износостойкость материала зависит не только от его твердости, но и от структуры, при анализе механизмов и прогнозировании величины абразивного износа в качестве критерия многие авторы рекомендуют в качестве одного из критериев использовать отношение твердости испытываемого металла H_m к твердости абразива H_a :

$$K_T = \frac{H_m}{H_a}. \quad (1)$$

Наиболее приемлемым и простым способом получения износостойких покрытий в производственных условиях может быть дуговая или плазменная наплавка при условии правильного подбора оптимальных композиций наплавляемых материалов и термического цикла процесса.

Для рационального выбора материалов и прогнозирования интенсивности изнашивания необходимо установить корреляционную связь между износостойкостью и другими свойствами материалов, а также технологическими параметрами получения износостойкого слоя и конструктивным исполнением элементов.

Одним из представителей наплавочных материалов, отвечающим требованию формирования износостойкого покрытия, является самозащитная порошковая проволока TeroMatec 4601. Производитель и поставщик – ООО «Кастолин» (г. Москва). Состав –Fe (основа), 29Cr, 5C, Mn, B, Si.

Учитывая, что каждый вид взаимодействия абразива и поверхности детали характеризуется различными механизмами разрушения поверхности, теоретические и экспериментальные исследования целесообразно проводить с учетом моделирования конкретных условий нагружения, вида абразива, скорости взаимодействия абразива и детали и других факторов. Из-за того, что смоделировать факторы нагружения и взаимодействия представляет достаточно трудоемкую задачу, одним из целесообразных вариантов для получения достоверных экспериментальных данных, является сравнение материала покрытия с материалом детали без покрытия в одинаковых условиях [8]. Это позволит оценить, в достаточной степени приближения, прогнозируемый уровень увеличения абразивной и гидроабразивной износостойкости при применении конкретного износостойкого материала.

В данной работе рассмотрены результаты испытания абразивной износостойкости поверхности наплавленной проволокой TeroMatec 4601 в сравнении со сталью 10. Результаты экспериментальных исследований проанализированы исходя из критерия отношения твердости испытываемого материала к твердости абразива.

Методика

Экспериментальные исследования проводились на образцах (подложках), изготовленных из трубы 273×20 ГОСТ 8732-78, Ст 10 ГОСТ 8731-74.

Наплавка выполнялась самозащитной порошковой проволокой TeroMatec 4601 диаметром 1,6 мм в один слой с применением сварочного оборудования Aristo Mig 4004i Pulse. Наплавка проводилась на следующих режимах: род тока – постоянный; полярность – обратная; сила тока, А – 213; напряжение, В – 25,7; ток импульса, А – 376; время импульса, ms – 2,6; скорость наплавки, м/час – 7,5.

Наплавка проводилась вдоль трубы с перекрытием предыдущего валика последующим на 1/3.

Толщина наплавленного слоя от 2,5 до 3,5 мм.

Образцы для испытаний вырезали из трубы на многофункциональном отрезном станке LC-250. Резка осуществлялась отрезным диском из абразива Al₂O₃ марки Struers 50A30. Размер образцов для исследований 25×20 × 20 мм.

Твердость образцов с наплавленными слоями измерялась согласно ГОСТ 9013-59 на твердомере ТР 5006.

Исследование стойкости к абразивному износу электроискровых покрытий образцов производилось на установке для абразивных испытаний, работающей по схеме Бринелля-Ховарта (рис. 1).

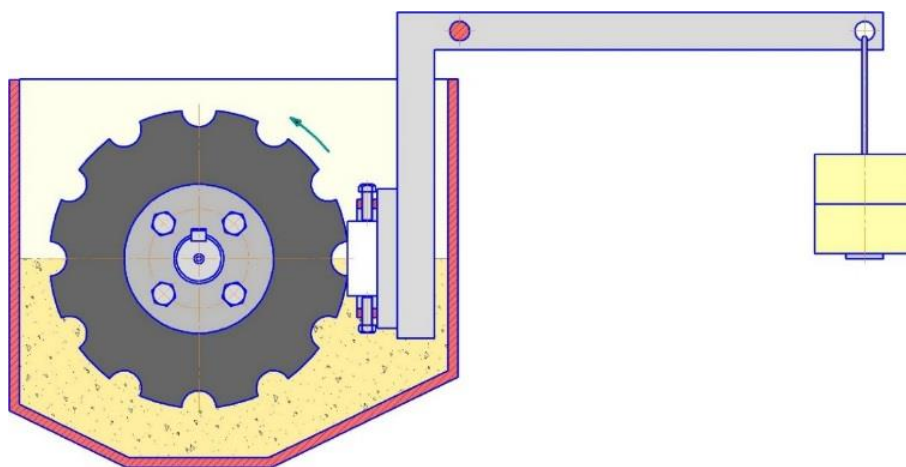


Рис. 1 – Установка для испытаний на абразивный износ по схеме Бринелля-Ховарта

В качестве абразивного материала применялся электрокорунд белый с зернистостью 0,2...0,5 мм. 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 составляла 28 м/мин. Время одного цикла испытания на истирание составляло 30 мин. Для каждого образца выполнялось 7 (семь) циклов испытаний. Общее время испытания составило 210 мин для каждого образца. Сила, прикладываемая на испытываемый образец через нагрузочный рычаг, составляла 0,09 кН. Смазочная среда отсутствовала.

Испытания проводились на образце, контактирующем с абразивной средой стороной подложки из стали 10.

Испытания износостойкости наплавленного слоя проводились на образцах с наплавленной поверхностью при движении абразива вдоль наплавки и поперек валиков наплавки.

Показателем оценки износостойкости материала была принята потеря массы образца после цикла испытаний. После каждого испытания проводилась серия из 7 (семи) измерений массы образца и фиксировалось среднее значение. Измерения выполнялись на весах аналитических ВК-300.

Результаты и обсуждение

Установлено, что на наплавленных поверхностях образцов имеются трещины, проходящие поперек валиков наплавки. Глубина трещин достигает величины наплавленного слоя и не выходит на подложку. Наличие трещин не является дефектом наплавки и обусловлено разной скоростью охлаждения подложки наплавленного слоя, разной их твердостью, отличием значений коэффициента термического расширения. А также их наличие указывает на снятие напряжений, образованных в процессе наплавки.

Установлено, что измерение твердости подложки из стали 10 в семи точках показало значение твердости в пределах 23-26 HRC. Твердость наплавленных слое, измеренная вдоль и поперек валиков наплавки, также в не менее семи точках показала значение в пределах 60-64 HRC.

Динамика интенсивности потери массы каждого образца представлена в виде графика относительной потери массы образца (рис. 2).

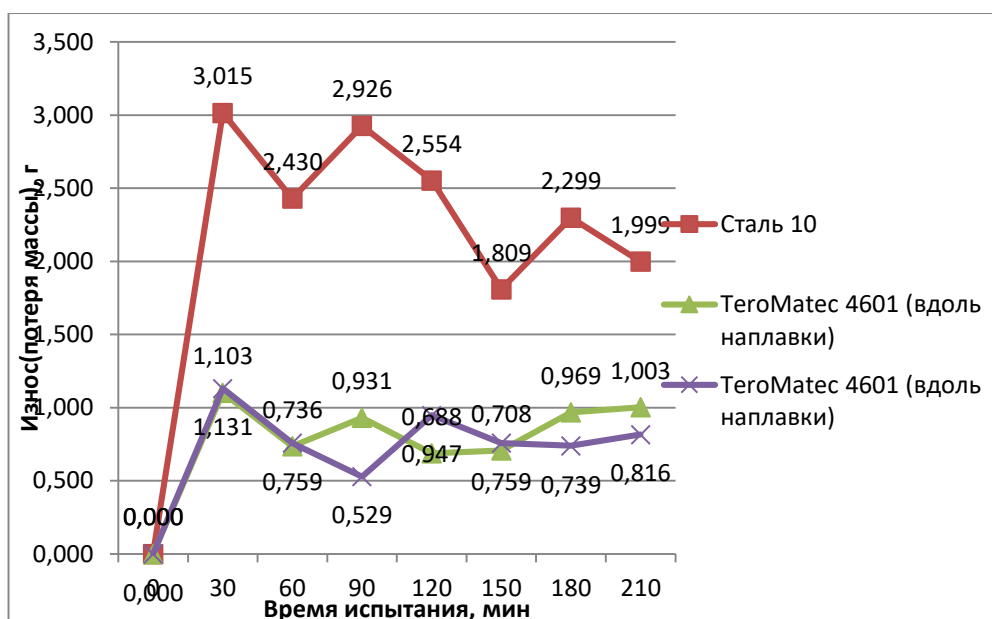


Рис. 2 – Относительная потеря массы образцов после каждого испытания

На графике видно, что износ образцов происходит неравномерно. С одной стороны, это обусловлено в начале испытаний периодом приработки, характеризующемся интенсивным износом. С другой стороны, различие в интенсивности изнашивания наплавленных образцов с одинаковой твердостью обусловлено направлением валиков наплавки относительно вектора движения свободного абразива. Направление валиков влияет на площадь износа образца, так как в начальном этапе непосредственно изнашиваются при данной схеме нагружения именно выступы наплавки. Относительная стабилизация износа наплавленных образцов после 150 мин испытаний обусловлена увеличением площади изношенной поверхности. На данном этапе испытаний направление валиков наплавки и движения образцов не оказывает доминирующего влияния.

Для оценки эффективности применения наплавочной проволоки TeroMatec 4601 с целью повышения стойкости поверхности из стали 10 к абразивному износу была построена зависимость износа образцов от времени их истирания на установке, представленная в виде графика на рисунке 3.

Анализ построенных зависимостей еще раз показывает, что направление движения абразива относительно направления наплавки оказывает, конечно, влияние, но его можно нивелировать за счет уменьшения высоты выступов наплавки и увеличения площади контакта.

При этом следует учитывать, что данные результаты испытаний и построенные зависимости характеризуют испытание наплавленного слоя TeroMatec 4601 с учетом именно взаимодействия между поверхностью и абразивом, которое реализуется в методе Бринелля-Ховарта.

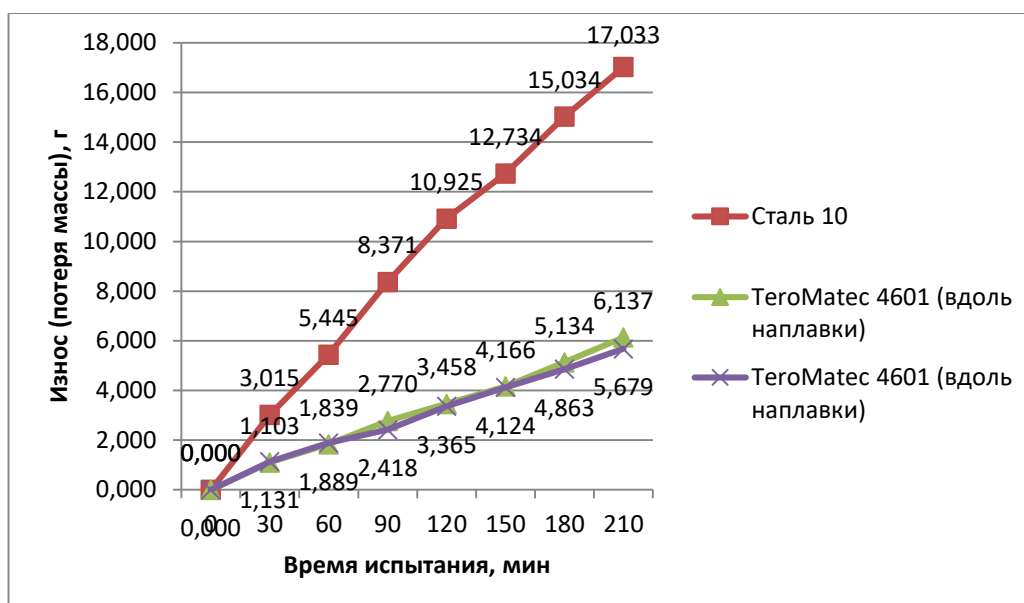


Рис. 3 – Зависимость износа образцов от времени истирания

Если рассматривать полученные зависимости с точки зрения высказанного допущения о применении в качестве одного из критериев оценки износостойкости критерия по формуле (1), то необходимо учесть твердости применяемых в испытаниях материалов и их соотношение. Следует отметить, что данные сравнения также имеют определенную степень допущения, так как измерение твердости абразивных и металлических материалов проводятся по разным методикам и с разными граничными условиями. Однако существуют справочные соотношения, которые можно использовать для оценки соотношения.

Так твердость электрокорунда белого по шкале Мооса составляет 9 единиц. Данное значение уступает только твердости алмаза, составляющую 10 единиц по шкале Мооса. При переводе в твердость по Бринеллю твердость абразивного материала составит ориентировочно 1500 НВ.

Твердость испытуемого образца из стали 10, по результатам проведенных измерений, составляет 230 НВ. Твердость наплавленной поверхности, соответственно, 600-640 НВ.

Соответственно, с учетом формулы (1) значение критерия соотношения твердости стали 10 и истирающего абразивного материала в наших условиях составила:

$$K_T = \frac{H_M}{H_a} = \frac{230}{1500} = 0,15. \quad (2)$$

Данный критерий для наплавленной поверхности TeroMatec 4601 составит:

$$K_T = \frac{H_M}{H_a} = \frac{640}{1500} = 0,43. \quad (3)$$

Указанный критерий является критерием характеризующем твердости образцов. При этом результаты испытаний, представленные на рисунке 2 и рисунке 3, характеризуют износ образцов. То есть величины, фактически, противоположной твердости.

Если соотнести фактические величины износа образцов по рис. 3, то величина износа образца из стали 10 больше износа образцов из износостойкого материала приблизительно в 2,77 раза. При этом, если провести обратное сопоставление критериев отношения твердости по формулам (2) и (3), то данная величина составит 2,86. Погрешность между двумя величинами составляет менее 5%.

Выводы

1. Применение наплавочной проволоки TeroMatec 4601 производства ООО «Кастолин» в качестве упрочняющего материала позволяет увеличить стойкость к абразивному изнашиванию деталей оборудования.

2. Абразивная износостойкость при наплавке проволоки TeroMatec 4601 производства ООО «Кастолин» на сталь 10 увеличивается в среднем в 2,77 раза.

3. Стойкость покрытий против абразивного износа зависит от многих факторов, в том числе от способа нанесения покрытия, твердости наплавленного металла, твердости армирующих фаз, прочности и пластичности матрицы, а также размера и твердости частиц абразива, вызывающих изнашивание поверхности детали. Предварительная оценка по принятому для абразивного износа параметру K_t является неоднозначной для различных видов изнашивания. При этом при применении метода Бринелля-Ховарта он показал достаточно высокую степень достоверности. Этот критерий можно использовать в качестве необходимого, но недостаточного показателя.

4. Исследование возможности применения критерия K_t для оценки износостойкости при разных видах нагружения, разных видах износостойких и абразивных материалов позволит более широко использовать его для предварительной оценки и принятия конструкторских и технологических решений при увеличении ресурса работы оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешин Н.П. Оценка остаточного ресурса сварных конструкций // Сварка и диагностика. 2007. № 2. С. 4–10.
2. Чичинадзе А.В., Берлинер Э.М., Браун Э.Д. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника). 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.
6. Хасуи А., Маригаки О. Наплавка и напыление. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
7. Pintaude G., Bernardes F.G., Santos M.M., Sinatora A., Albertin E. Mild and severe wear of steels and cast irons in sliding abrasion // Wear. 2009. Vol. 266. P. 19–25.
8. Рекомендации по расчету гидроабразивного износа пульпопроводов и насосов систем гидрозолоудаления ТЭС // П 09-83. Ленинград: ВНИИГ, 1984. 75 с.

СЕКЦИЯ №4 «АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»

УДК 681.5

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ

Глущенко А.И.¹, Ласточкин К.А.^{1,2}

¹ ФГБУН Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, РФ, Москва

117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65, тел.: (495) 198-17-20, доб. 1433

² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС», РФ, Старый Оскол
309516, Белгородская область, г. Старый Оскол, м-н Макаренко, 42; тел.: (4725) 45-12-00

Аннотация. Рассматриваются особенности применения нейронных сетей для решения задач управления. Показан класс объектов, для которых такой подход обоснован – это нелинейные объекты с параметрической неопределенностью. Приведены формулы для оперативного обучения нейронной сети, гарантирующие устойчивость получаемой системы управления. Результаты численных экспериментов на модели Wing Rock подтверждают теоретические заключения.

Ключевые слова: нейронные сети; нелинейные нестационарные объекты управления; устойчивость; оперативное обучение; Wing Rock.

NEURAL NETWORKS APPLICATION TO SOLVE CONTROL PROBLEMS

Glushchenko A.I.¹, Lastochkin K.A.^{1,2}

¹ V.A. Trapeznikov Institute of Management Problems of the Russian Academy of Sciences,
Russian Federation, Moscow 65, Trade Union Street, Moscow, 117997, tel.: (495) 198-17-20, ext. 1433

² 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
strondutt@mail.ru, lastconst@yandex.ru

Abstract. The hardships of the neural networks application to solve control problems are considered. The class of plants, for which such an approach is justified, is shown. These are non-linear plants with parameter uncertainty. The adaptation laws to train the neural network online, which guarantee the obtained control system stability, are given. The results of numerical experiments using the Wing Rock model confirm the theoretical conclusions.

Keywords: neural networks; nonlinear plants with parameter uncertainty; stability; online training; Wing Rock.

В настоящее время нейронные сети получили очень широкое распространение при решении множества задач: распознавание объектов на изображениях и видео, машинный перевод и, в целом, обработка естественного языка, генерация новых изображений, текстов, аудио файлов, формирование embeddings для коллаборативной фильтрации и др. [1, 2]. Все эти задачи могут быть решены нейронными сетями благодаря наличию у них универсальных аппроксимационных свойств, неоднократно строго доказанных различными авторами, в частности, в [3]. В этой связи, представляется возможным их применение и для решения задач управления технологическими процессами как средства аппроксимации нелинейности и параметрической неопределенности объекта управления.

В 2000 году Александром Ивановичем Галушкиным на русский язык была переведена книга Сигеру Омату и др. [4] «Нейроуправление и его приложения», изначально выпущенная издательством Springer в 1995 году. Она на многие годы стала отправной точкой для русскоязычных исследователей, заинтересованных в данной задаче. Однако, она не содержит строгого математического доказательства устойчивости систем управления в рамках схем последовательного и параллельного нейроуправления, а также схемы с самонастройкой. Кроме того, с математической точки зрения не обоснована необходимость применения сетей.

Необходимо упомянуть ряд англоязычных работ [5-7], которые не были переведены на русский язык (основополагающая книга [5] была издана в 1999 году), которые в качестве базиса используют фреймворк адаптивного управления с эталонной моделью и лишены указанных недостатков. На их основе и построено дальнейшее изложение материала статьи.

Рассмотрим задачу управления с обратной связью по координатам состояния нелинейным объектом с постоянными неизвестными параметрами (возмущения и помехи измерения пока умышленно не рассматриваются):

$$\dot{x} = Ax + B[u + f(x)], \quad (1)$$

где $x \in \mathbb{R}^n$ – вектор координат состояния, $u \in \mathbb{R}$ – управляющее воздействие, $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ – матрица состояний, $B \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ – вектор управлений, $f(x) \in \mathbb{R}$ – это согласованная с управлением параметрическая неопределенность и, возможно, нелинейность. A и B постоянны, неизвестны и составляют управляемую пару. Вектор x измерим.

Эталонная модель (ЭМ) имеет следующую форму:

$$\dot{x}_{ref} = A_{ref} x_{ref} + B_{ref} r, \quad (2)$$

$x_{ref} \in \mathbb{R}^n$ – вектор состояний ЭМ, $r \in \mathbb{R}$ – задание на контур управления, $B_{ref} \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ – вектор управления ЭМ, $A_{ref} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ – матрица состояний ЭМ.

$f(x)$ может быть линейно параметризована (регрессия линейна, но ее регрессор может быть нелинейным):

$$f(x) = \sum_{i=1}^p \theta_i \phi_i = \Theta^{*T} \Phi(x), \quad (3)$$

где $\Theta^* = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p]^T \in \mathbb{R}^p$ – вектор неизвестных постоянных параметров, $\Phi(x) = [\phi_1(x), \phi_2(x), \dots, \phi_p(x)]^T \in \mathbb{R}^p$ – это вектор базовых функций. Дальнейшие рассуждения зависят от того, известны ли эти базовые функции. Если да, то задача может быть решена с помощью стандартного регулятора. Например, для задачи Wing Rock [6] регрессор точно известен: $\Phi(x) = [x_1, x_2, |x_1| x_2, |x_2| x_2, x_1^3]^T$. Покажем это.

Запишем уравнение в отклонениях:

$$\dot{e}_{ref} = \dot{x} - \dot{x}_{ref} = A_{ref} e_{ref} + B \left(u + \Theta^{*T} \Phi(x) + B^T (A - A_{ref}) x - B^T B_{ref} r \right), \quad (4)$$

Тогда идеальный регулятор для выбранного объекта примет вид:

$$\begin{aligned} u &= -B^T (A - A_{ref}) x + B^T B_{ref} r - \Theta^{*T} \Phi(x) = k^x x + k^r r - \Theta^{*T} \Phi(x) = \\ &= \theta^T \omega - \Theta^{*T} \Phi(x) = u_{baseline} - u_{adaptive} \end{aligned} \quad (5)$$

Введем закон управления с настраиваемыми параметрами $\hat{k}_x \in \mathbb{R}^{m \times n}$, $\hat{k}_r \in \mathbb{R}^{m \times 1}$, $\hat{\Theta} \in \mathbb{R}^{p \times 1}$:

$$u = \hat{k}_x x + \hat{k}_r r - \hat{\Theta}^T \Phi(x) = \hat{\theta}^T \omega - \hat{\Theta}^T \Phi(x) \quad (6)$$

Тогда параметризованное уравнение в отклонениях примет вид:

$$\dot{e}_{ref} = A_{ref} e_{ref} + B \tilde{\theta}^T \omega - B \tilde{\Theta}^T \Phi(x), \quad \tilde{\theta}^T = \hat{\theta}^T - \theta^T, \quad \tilde{\Theta}^T = \hat{\Theta}^T - \Theta^{*T} \quad (7)$$

Кандидата в функции Ляпунова выберем как:

$$V = e_{ref}^T P e_{ref} + |B| \tilde{\theta}^T \Gamma^{-1} \tilde{\theta} + |B| \tilde{\Theta}^T \Gamma^{-1} \tilde{\Theta}, \quad A_{ref}^T P + P A_{ref} = -Q \quad (8)$$

После преобразований производная функции Ляпунова примет вид:

$$\dot{V} = -e_{ref}^T Q e_{ref} + 2e_{ref}^T P \operatorname{sgn}(B) |B| \tilde{\theta}^T \omega + 2|B| \tilde{\theta}^T \Gamma^{-1} \dot{\tilde{\theta}} - 2e_{ref}^T P \operatorname{sgn}(B) |B| \tilde{\Theta}^T \Phi(x) + 2|B| \tilde{\Theta}^T \Gamma_{\Theta}^{-1} \dot{\tilde{\Theta}} \quad (9)$$

Тогда законы настройки параметров регулятора следует выбрать как:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{\theta}} &= -\Gamma \omega e_{ref}^T P \operatorname{sgn}(B), \quad \dot{\tilde{\Theta}} = \Gamma_{\Theta} \Phi(x) e_{ref}^T P \operatorname{sgn}(B) \\ \dot{V} &= -e_{ref}^T Q e_{ref} \leq 0, \quad \ddot{V} \text{ ограничена} \end{aligned} \quad (10)$$

При применении выбранных законов настройки производная функции Ляпунова неположительна, вторая ее производная ограничена. Таким образом, устойчивость системы управления гарантирована, параметрическая неопределенность и нелинейность объекта полностью скомпенсированы. Асимптотическая сходимость ошибки слежения гарантирована. Если в задаче присутствуют шумы измерений, возмущения, то к данным законам настройки необходимо добавить модификации (σ , ϵ и др.) [6], чтобы избежать дрейфа настраиваемых параметров регулятора.

Если структура нелинейности неизвестна, то невозможно сформировать правильный регрессор $\Phi(x)$. Но x известен (измерим). Поэтому необходимо использовать вместо $f(x) = \Theta^T \Phi(x)$ какие-то другие структуры, которые обеспечивают универсальные свойства аппроксимации. Например, нейронные сети.

Нейронные сети (которые будут использоваться вместо $f(x) = \Theta^T \Phi(x)$) не могут быть обучены заранее (офлайн), так как получение соответствующего обучающего набора является нетривиальной задачей. «Правильные ответы» (ground-truth) $f(x)$ недоступны.

Поэтому вновь применим второй метод Ляпунова для: (а) получения новых законов (не обычных backprop) для настройки параметров нейронной сети (как известно, такой метод позволяет избавиться от необходимости знать идеальные значения параметров регулятора), и для (б) обеспечения устойчивости замкнутой системы. Таким образом, нейронная сеть будет обучаться в режиме онлайн (оперативно).

В случае онлайн-обучения нейронная сеть является лишь мгновенным аппроксиматором текущей нелинейности и неопределенности объекта. Она не аппроксимирует всю «кривую». Поэтому глубокие сети с «долговременной памятью» не требуются. Таким образом, $f(x)$ можно аппроксимировать с помощью нейронной сети:

$$f(x) = W^T \sigma(V^T x) + \varepsilon, \quad \|\varepsilon\| \leq \varepsilon_N \quad (11)$$

ε – это ошибка аппроксимации, ε_N – ее известная верхняя граница (ее можно снижать увеличивая количество нейронов в скрытом слое сети), W и V – матрицы неизвестных идеальных параметров такой сети. Сама нейронная сеть и ее параметризация приведены на рис. 1 (σ – сигмоидальная функция активации).

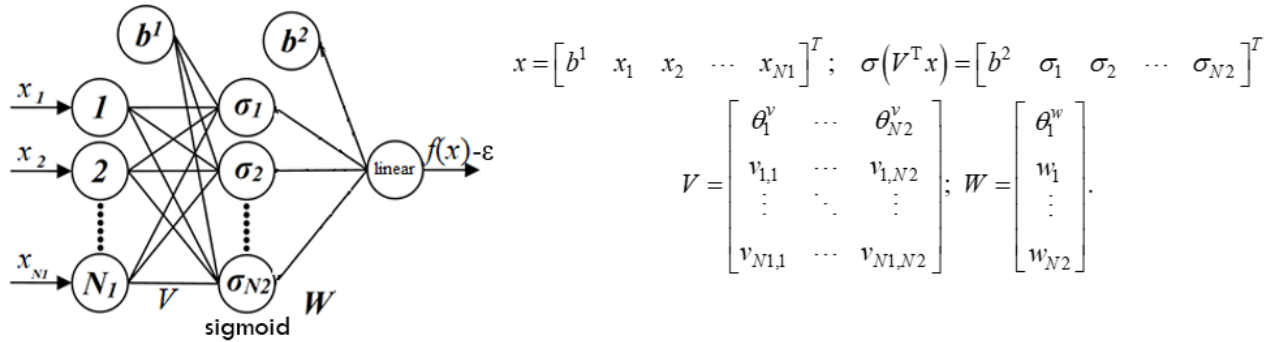


Рис. 1 – Общий вид нейронной сети

Оценка $f(x)$ с помощью нейронной сети с настраиваемыми параметрами имеет вид:

$$\hat{f}(x) = \hat{W}^T \sigma(\hat{V}^T x) \quad (12)$$

где $\hat{W}$, $\hat{V}$ – это фактические значения параметров сети, полученные в результате применения алгоритма обучения, вывод которого и является дальнейшей целью. Рассогласования определим как:

$$e = \hat{W}^T \sigma(\hat{V}^T x) - W^T \sigma(V^T x) - \varepsilon, \quad \tilde{V} = \hat{V} - V, \quad \tilde{W} = \hat{W} - W \quad (13)$$

Линейная зависимость ошибки от настраиваемых параметров необходима для получения искомых алгоритмов обучения. Но V входит в (13) нелинейно через σ . Поэтому применим разложение σ в ряд Тейлора.

$$\sigma(V^T x) = \sigma(\hat{V}^T x) - \sigma'(\hat{V}^T x) \tilde{V}^T x + O(\tilde{V}^T x)^2, \quad \sigma'(\hat{z}) = \frac{d\sigma(z)}{dz} \Big|_{z=\hat{z}} \quad (14)$$

Уравнение в отклонениях примет вид:

$$\dot{e}_{ref} = \dot{x} - \dot{x}_{ref} = A_{ref} e_{ref} + B(u + W^T \sigma(V^T x) + \varepsilon + B^T (A - A_{ref})x - B^T B_{ref} r), \quad (15)$$

Идеальный для него закон управления выбран как:

$$\begin{aligned} u &= -B^T (A - A_{ref})x + B^T B_{ref} r - W^T \sigma(V^T x) = k^x x + k^r r - W^T \sigma(V^T x) = \\ &= \theta^T \omega - W^T \sigma(V^T x) = u_{baseline} - u_{adaptive} \end{aligned} \quad (16)$$

Тогда закон с настраиваемыми параметрами имеет форму:

$$u = \hat{k}_x x + \hat{k}_r r - \hat{W}^T \sigma(\hat{V}^T x) = \hat{\theta}^T \omega - \hat{W}^T \sigma(\hat{V}^T x), \quad (17)$$

где $\hat{k}_x \in R^{m \times n}$, $\hat{k}_r \in R^{m \times 1}$, $\hat{V} \in R^{(N1+1) \times (N2+1)}$, $\hat{W} \in R^{(N2+1) \times 1}$ – настраиваемые параметры.

Запишем параметризованное уравнение в отклонениях:

$$\begin{aligned} \dot{e}_{ref} &= A_{ref} e_{ref} + B\tilde{\theta}^T \omega - B\hat{W}^T \sigma(\hat{V}^T x) + BW^T \sigma(V^T x) + B\varepsilon = \\ &= A_{ref} e_{ref} + B\tilde{\theta}^T \omega - B\tilde{W}^T (\sigma(\hat{V}^T x) - \sigma'(\hat{V}^T x) \hat{V}^T x) - B\hat{W}^T \sigma'(\hat{V}^T x) \tilde{V}^T x + B\delta \end{aligned} \quad (18)$$

Введем кандидата в функции Ляпунова:

$$\begin{aligned} V(e_{ref}, \tilde{\theta}, \tilde{V}, \tilde{W}) &= e_{ref}^T P e_{ref} + |B| \tilde{\theta}^T \Gamma^{-1} \tilde{\theta} + |B| \text{trace}(\tilde{V}^T \Gamma_v^{-1} \tilde{V}) + |B| \text{trace}(\tilde{W}^T \Gamma_w^{-1} \tilde{W}) \\ A_{ref}^T P + P A_{ref} &= -Q \end{aligned} \quad (19)$$

После преобразований ее производная примет вид:

$$\begin{aligned}
\dot{V}(e_{ref}, \tilde{\theta}, \tilde{V}, \tilde{W}) = & -e_{ref}^T Q e_{ref} + 2|B| \tilde{\theta}^T \left[e_{ref}^T P \operatorname{sgn}(B) \omega + \Gamma^{-1} \dot{\tilde{\theta}} \right] + \\
& + 2 \operatorname{trace} \left(|B| \tilde{W}^T \left[-\left(\sigma(\hat{V}^T x) - \sigma'(\hat{V}^T x) \hat{V}^T x \right) e_{ref}^T P \operatorname{sgn}(B) + \Gamma_w^{-1} \dot{\tilde{W}} \right] \right) + \\
& + 2 \operatorname{trace} \left(|B| \tilde{V}^T \left[-x e_{ref}^T P \operatorname{sgn}(B) \hat{W}^T \sigma'(\hat{V}^T x) + \Gamma_v^{-1} \dot{\tilde{V}} \right] \right) + 2 e_{ref}^T P B \delta
\end{aligned} \tag{20}$$

Для обеспечения ее отрицательности законы настройки параметров базового регулятора и нейронной сети выбраны в следующем виде:

$$\begin{aligned}
\dot{\tilde{\theta}} &= -\Gamma \omega e_{ref}^T P \operatorname{sgn}(B), \\
\dot{\tilde{V}} &= \Gamma_v x e_{ref}^T P \operatorname{sgn}(B) \hat{W}^T \sigma'(\hat{V}^T x), \\
\dot{\tilde{W}} &= \Gamma_w \left(\left[\sigma(\hat{V}^T x) - \sigma'(\hat{V}^T x) \right] \hat{V}^T x \right) e_{ref}^T P \operatorname{sgn}(B).
\end{aligned} \tag{20}$$

Необходимо отметить, что при применении данных законов на производную функции Ляпунова получена следующая оценка сверху:

$$\dot{V}(e_{ref}, \tilde{\theta}, \tilde{V}, \tilde{W}) = -e_{ref}^T Q e_{ref} + 2|B| e_{ref}^T P \delta \leq -\lambda_{\min}(Q) \|e_{ref}\|^2 + 2\|PB\| \|e_{ref}\| \delta_0 \tag{21}$$

Таким образом:

$$\dot{V}(e_{ref}, \tilde{\theta}, \tilde{V}, \tilde{W}) \leq 0 \quad \text{if} \quad \|e_{ref}\| \geq 2\|PB\| \delta_0 / \lambda_{\min}(Q) \tag{22}$$

Из (22) следует, что, даже если возмущения и шумы измерений исключены из рассмотрения, ошибка слежения может быть сведена только к множеству (не к нулю), поскольку при выводе формул обучения нейронной сети учитывались ошибки аппроксимации и остаточный член ряда Тейлора. Поэтому возможен дрейф настраиваемых параметров. И полученные адаптивные законы должны быть защищены от него с помощью упомянутых ранее робастных модификаций. Когда «правильная» структура регрессора $\Phi(x)$ известна, такая проблема не возникает – при отсутствии шумов измерений и возмущений ошибка слежения сходится к нулю без каких-либо модификаций. Если же они присутствуют, то модификации потребуются в любом случае.

В качестве задачи управления для численных экспериментов рассмотрим Wing Rock [6]. Описание объекта управления, эталонной модели, структуры нелинейного регрессора и идеальных значений параметров неопределенности приведены ниже:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} (u + \Theta^T \Phi(x)), \quad \begin{bmatrix} \dot{x}_{1ref} \\ \dot{x}_{2ref} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -5,3 & -3,25 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1ref} \\ x_{2ref} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 5,3 \end{bmatrix} r,$$

$$\Theta^T = [3,63 \quad -8,58 \quad 20,2 \quad -21,9 \quad -51,9]; \quad \Phi(x) = [x_1 \quad x_2 \quad |x_1|x_2 \quad |x_2|x_2 \quad x_1^3].$$

Численные эксперименты (рис.2) проводились для систем управления с: 1) настраиваемым линейным аппроксиматором нелинейности (когда структура регрессора $\Phi(x)$ известна) – см. (6) и (10) – *linear*, 2) нейросетевым компенсатором нелинейности (когда структура регрессора $\Phi(x)$ неизвестна) с применением σ -модификации – см. (23) – *NN*, 3) идеальным линейным компенсатором нелинейности (в предположении, что известна не только структура $\Phi(x)$, но и все идеальные параметры регуляторов) – см. (24) – *ideal*. Начальные значения всех настраиваемых параметров принимались нулевыми. Продemonстрируем, что все три системы позволяют получить сходное качество управления.

$$u_{NN} = k_x x + k_r r - \hat{W}^T \sigma(\hat{V}^T \omega),$$

$$\dot{\hat{V}} = \Gamma_v x e_{ref}^T P \text{sgn}(B) \hat{W}^T \sigma'(\hat{V}^T x) - \sigma_v \hat{V}, \quad (23)$$

$$\dot{\hat{W}} = \Gamma_w (\sigma(\hat{V}^T x) - \sigma'(\hat{V}^T x) \hat{V}^T x) e_{ref}^T P \text{sgn}(B) - \sigma_w \hat{W}$$

$$u_{ideal} = k_x x + k_r r - \Theta^T \Phi(x), \quad k_x = \begin{bmatrix} -5,3 \\ -3,25 \end{bmatrix}, \quad k_r = 5,3 \quad (24)$$

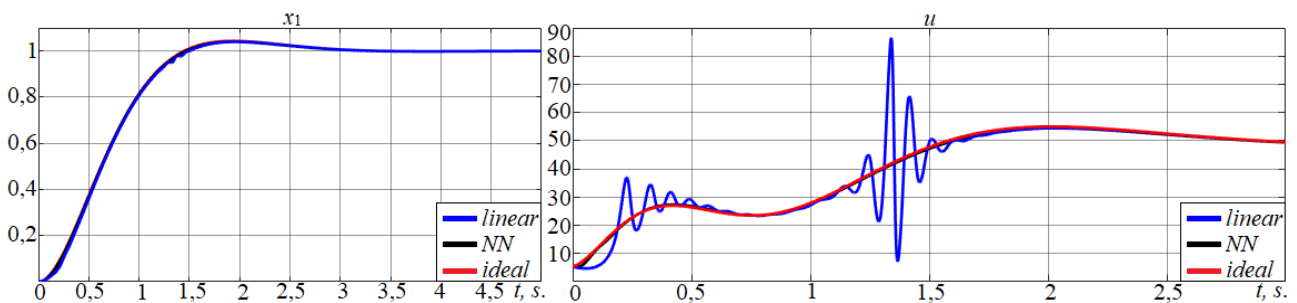


Рис. 2 – Результаты численных экспериментов для трех выбранных систем управления

Анализируя полученные графики переходных процессов, необходимо отметить, что все три системы позволили получить сходные по качеству результаты для координаты x_1 , что и требовалось показать. Что же касается графика сигнала управления, то система с нейросетевым аппроксиматором позволила избежать колебаний. Анализ устойчивости на

основе второго метода Ляпунова показал, что обе системы, настраивающие параметры регулятора, будут устойчивы. Однако он не давал никаких оценок на сигнал управления и его форму. Поэтому улучшение его качества при применении нейронной сети можно объяснить применением σ -модификации. Сходного графика можно добиться и для случая, когда структура $\Phi(x)$ «точно» известна, но необходимо также ввести σ -модификацию в законы настройки.

Нейронные сети могут также применяться для решения задач управления объектами с недостатком каналов управления (underactuated plants). Некоторые результаты, полученные авторами для указанной задачи, могут быть найдены в [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николенко С., Кадурын А., Архангельская Е. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. – СПб.: Питер, 2018. – 480 с.: ил.
2. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. – СПб.: Питер, 2018. – 400 с.
3. Gorban A.N., Wunsch D. The general approximation theorem // Proceedings of the IJCNN. – Anchorage: IEEE, 1998. – P. 1271–1274.
4. Омату С., Халид М., Юсоф Р. Нейроуправление и его приложения. – М.: ИПРЖР, 2000. – 272 с.
5. Lewis F. W., Jagannathan S., Yesildirak A. Neural network control of robot manipulators and non-linear systems. – CRC press, 1999.
6. Nhan T. Nguyen Model-Reference Adaptive Control. A Primer. Springer, 2018.
7. Eugene Lavretsky, Kevin A. Wise Robust and Adaptive Control with Aerospace Applications. Springer, 2013.
8. Глущенко А.И., Петров В.А., Ласточкин К.А. Адаптивное нейросетевое управление нелинейными объектами с дефицитом каналов управления на примере двухколесного балансирующего робота // Проблемы управления. – 2021. – № 5. – С. 34-47.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КРАНА

Елемесов Б.А., Белых Д.В.

*Новотроицкий филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», ул. Фрунзе, 8,
Новотроицк, Оренбургская обл., 462359
elemesov.bulat5@gmail.com, belykh.work@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматривается металлургический кран, составляется модель процесса работы электропривода механизма перемещения металлургического крана.

Ключевые слова: металлургический кран; электропривод; механизм перемещения, моделирование.

SIMULATION OF THE MOVEMENT MECHANISM OF A METALLURGICAL CRANE

Elemesov B.A., Belykh D.V.

*Novotroitsk Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS"
elemesov.bulat5@gmail.com, belykh.work@yandex.ru*

Abstract. The article considers a metallurgical crane, a model of the operation process of the electric drive of the movement mechanism of the metallurgical crane is compiled.

Keywords: metallurgical crane; electric drive; displacement mechanisms, modeling.

Металлургические краны предназначены для выполнения подъемно-транспортных операций с сыпучими материалами: в доменных цехах металлургических заводов - для складирования и усреднения руды; на угольных складах - для аналогичных операций с углем, на цементных заводах - с сырьевыми материалами. В коксохимическом производстве наиболее особенно важным агрегатом в цеху является кран - перегружатель, который располагается на углеподготовительном участке цеха.

В зависимости от типа конструкции моста краны разделяют на краны с решетчатым, вантовым и трубчатым мостами. Также они имеют очень длинные пролеты, и поднимают грузы большой массы. К тому же данное оборудование обладает высокой скоростью перегрузки материалов. Основными рабочими характеристиками перегружателя являются его

производительность, которая показывает количество перегруженного груза в час работы, количество измеряется тоннами.

Многообразие задач, которые способен решать стреловой кран можно объединить общими функциональными особенностями. К таким особенностям относятся:

- возможность работы с грузами различной массы и габаритов;
- устанавливать стреловой кран в условиях пересечённой местности;
- проводить погрузочно-разгрузочные работы в различных климатических условиях;
- устанавливать в условиях городской среды на ограниченном пространстве.

Целью работы является:

- смоделировать процесс работы электропривода механизма перемещения металлургического крана;
- получить тахограмму и нагрузочную диаграмму работы агрегата;
- достичь времени переходного значения около 8500 с;
- достичь значения перерегулирования менее 3%;
- добиться соответствия внешнего вида переходных процессов.

На рисунке 1 и 2 представлены тахограмма и нагрузочная диаграмма работы крана.

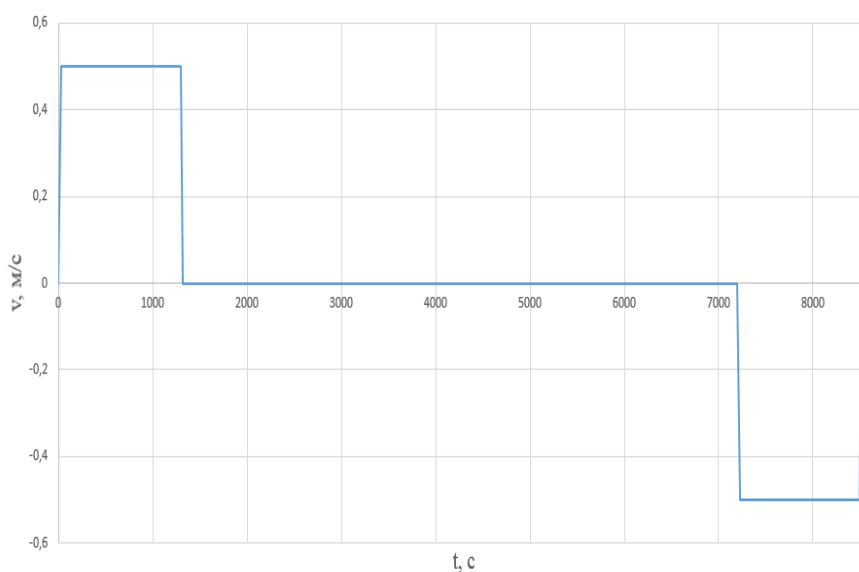


Рис. 1 – Тахограмма привода перемещения металлургического крана

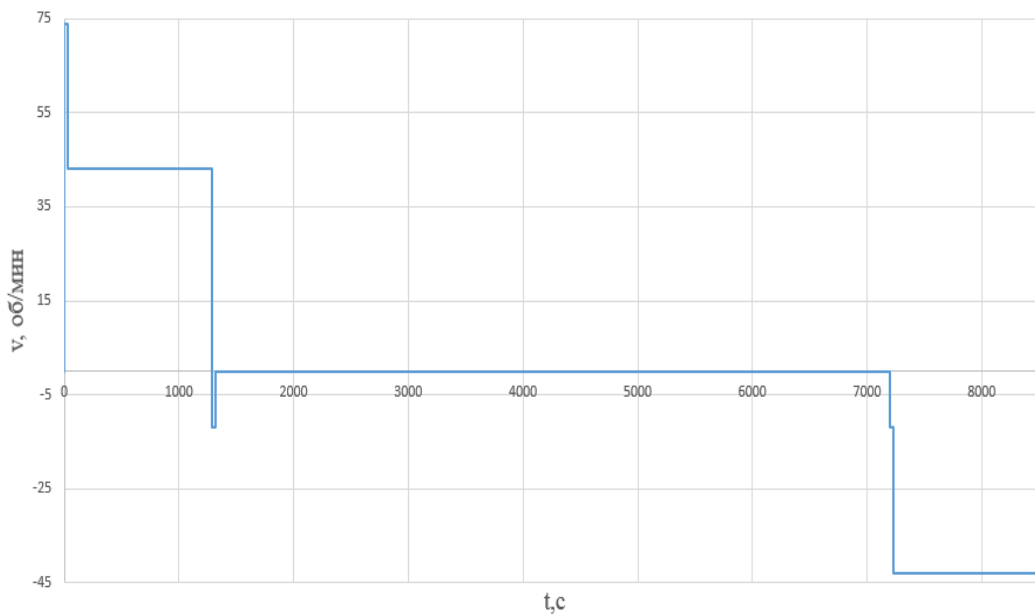


Рис. 2 – Нагрузочная диаграмма привода перемещения металлургического крана

По имеющимся исходным данным можно построить структурную схему системы векторного управления привода перемещения металлургического крана, представленную на рисунке 3.

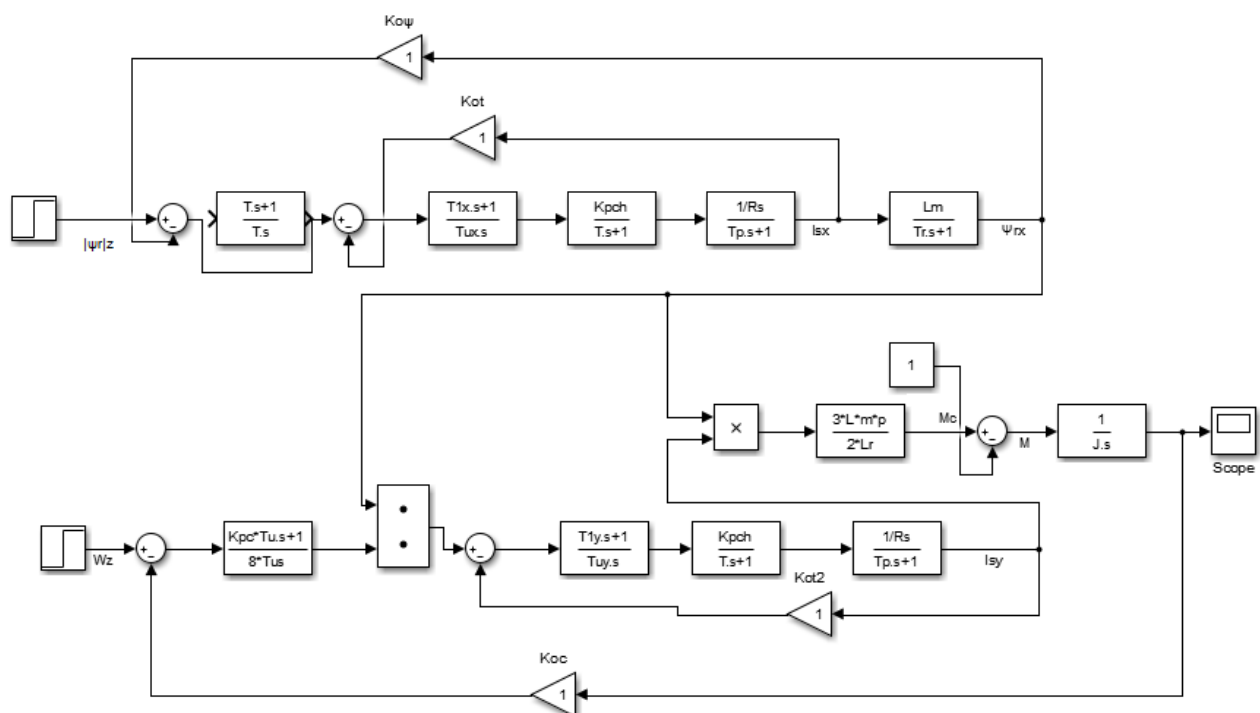


Рис. 3 – Упрощенная система регулирования электропривода переменного тока при векторном управлении

Тахограмма и нагрузочная диаграмма полученные при помощи модели представлены

на рисунках 4 и 5.

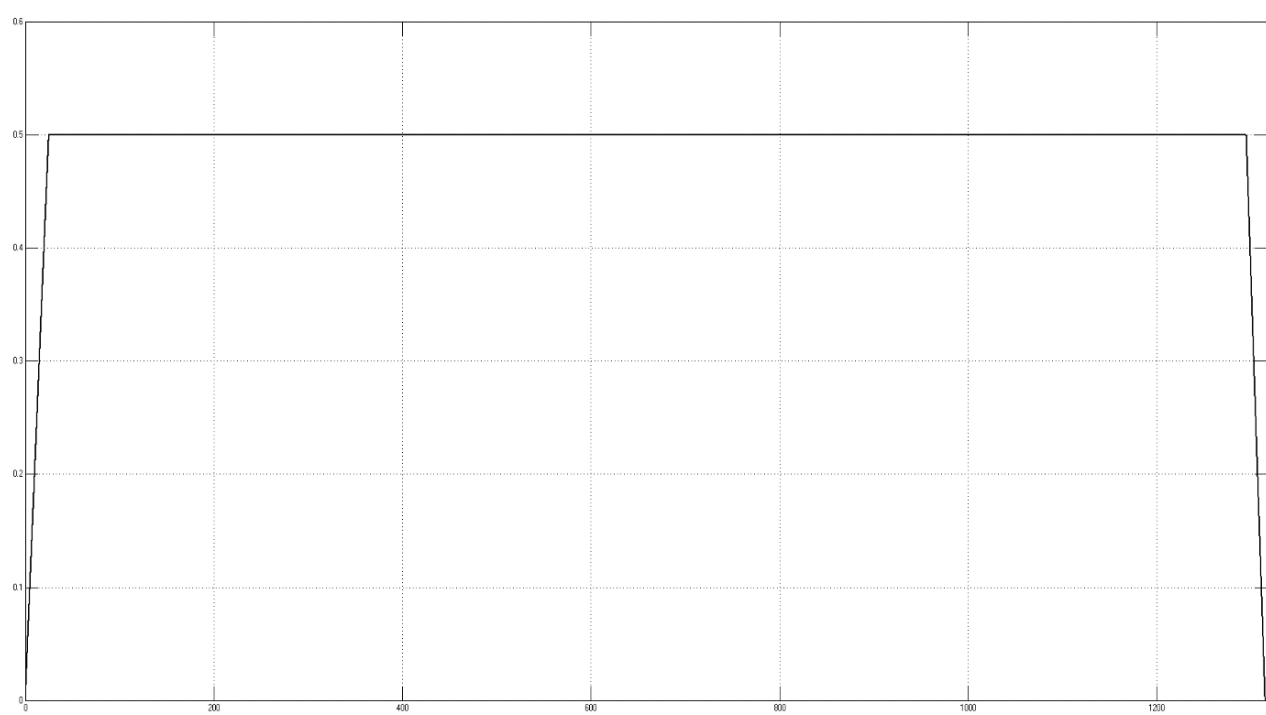


Рис. 4 – Тахограмма - движение вперед электропривода механизма перемещения
металлургического крана

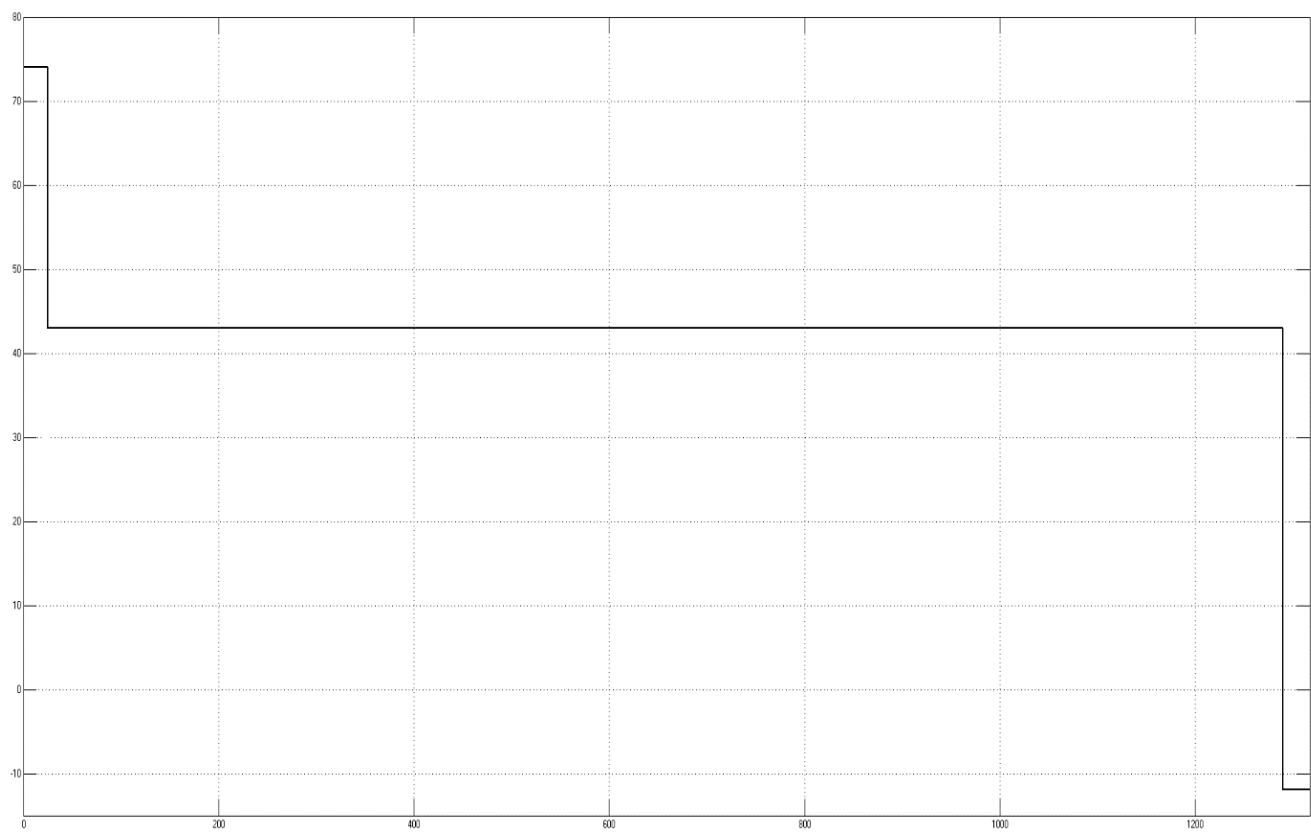


Рис. 5 – Нагрузочная диаграмма - движение вперед электропривода механизма перемещения

Таким образом, была получена модель процесса работы электропривода механизма перемещения металлургического крана. В ходе анализа были получены следующие данные:

- система структурирована, т. к. все ее части связаны между собой и взаимодействуют;
- система устойчива, т. к. способна возвращаться в исходное равновесие после исчезновения внешних нагрузок;
- перерегулирование составляет менее 3 %, что говорит о монотонности переходных процессов;
- время переходного процесса составляет около 8500 с, что соответствует заданию;
- внешний вид переходных процессов соответствует заданным тахограмме и нагрузочной диаграмме, это говорит о том система правильно обрабатывает задание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.А. Андреев. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. Москва: Издательство ВШК, 2006. 639 с.
2. Белых Д.В., Лицин К.В. Внедрение частотного привода в механизм перемещения крана-перегрузжателя // Энергетика. Проблемы и перспективы развития. Изд-во: Тамбовский государственный технический университет (Тамбов), 2019. С. 82–84.
3. Перегрузжатели – Рабочие характеристики URL: - <https://promplace.ru/peregruzhateli-rabochie-harakteristiki-i-konstrukciya-474.htm> (Дата посещения: 05.12.2021)
4. Конструкция и принципы работы стрелковых кранов URL: - <https://carsfarm.ru/strojtehnika/strelovye-samohodnye-kраны.html> (Дата посещения: 05.12.2021)

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПУСКОМ ДВИГАТЕЛЯ В ПРОГРАММЕ CODESYS 3.5

Клименко А.А., Белых Д.В.

*Новотроицкий филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», ул. Фрунзе, 8,
Новотроицк, Оренбургская обл., 462359
climenko.lyoha@yandex.ru, belykh.work@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются портативные контроллеры и различные программные обеспечения необходимые для их работы. Изучается ПО CoDeSys 3.5 и контроллер ОВЕН, рассказывается о всех их достоинствах. Также написана программа для автоматического запуска двигателя.

Ключевые слова: контроллеры; программное обеспечение; автоматический запуск; CoDeSys 3.5

INVESTIGATION OF THE AUTOMATIC ENGINE START CONTROL SYSTEM IN THE CODESYS 3.5 PROGRAM

Klimenko A.A., Belykh D.V.

Novotroitsky Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS"

Abstract. This article discusses portable controllers and various software necessary for their operation. Codesys 3.5 and Owen controllers are studied, and all their advantages are described. A program has also been written to automatically start the engine.

Keywords: controllers; software; automatic startup; CoDeSys 3.5

На данный момент, программируемый контроллер – это одна из разновидностей ЭВЛ (электронной вычислительной машины). Контроллеры применяются для автоматизации и упрощения рабочего процесса. Чаще всего, такие контроллеры используют в неблагоприятных условиях, без серьёзного технического обслуживания и вмешательства человека. На данный момент есть множество систем управления и программирования контроллеров, но самой простой в освоении и использовании является система CoDeSys 3.5. Именно она будет рассматриваться в данной работе.

Цель работы: получение навыков работы с современным программным обеспечением контроллера, а также настройка параметров пуска двигателя.

Одной из самых популярных отечественных фирм-производителей контроллеров является ОВЕН. У них есть множество преимуществ, которые будут рассмотрены далее:

- 1) отсутствует операционная система, это в несколько раз повышает надежность работы контроллера.
- 2) большое количество интерфейсов и все они работают отдельно друг от друга.
- 3) встроенные аккумуляторы, это позволяет «пережить» перебои с питанием. Все программы, при пропадании питания, переходят в режим «ожидания».
- 4) встроенные часы, что позволяет отслеживать время работы.

Контроллеры ОВЕН оснащаются операционной системой CoDeSys 3.5, и у нее есть свои плюсы:

- 1) системы предоставляется бесплатно при покупке самого контроллера.
- 2) сама система проста для изучения и может быть изучена самостоятельно.

Для изучения работы системы CoDeSys 3.5, будет рассмотрена система автоматического управления запуском двигателя. В программе необходимо реализовать схему показанную на рисунке 1.

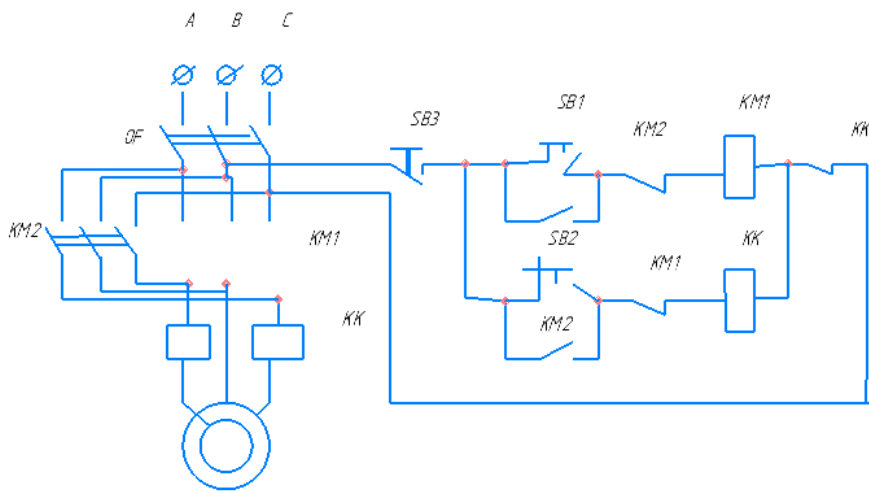


Рис. 1 – Исследуемая электрическая схема

Основные тэги (элементы) программы для запуска двигателя показан на рисунке 2.


```

1  PROGRAM PLC_PRG
2  VAR
3  Stop: BOOL; // кнопка "Стоп"
4  KM1: BOOL; // работа цепи прямого пуска
5  KM2: BOOL; // работа цепи реверса
6  K_forward: BOOL; // кнопка "Вперед"
7  K_back: BOOL; // кнопка "Назад"
8  END_VAR

```

Рис. 2 – Тэги программы

Так же, программное обеспечение CoDeSys 3.5 поддерживает язык программирования LD. Код, написанный на нем показан на рисунке 3.

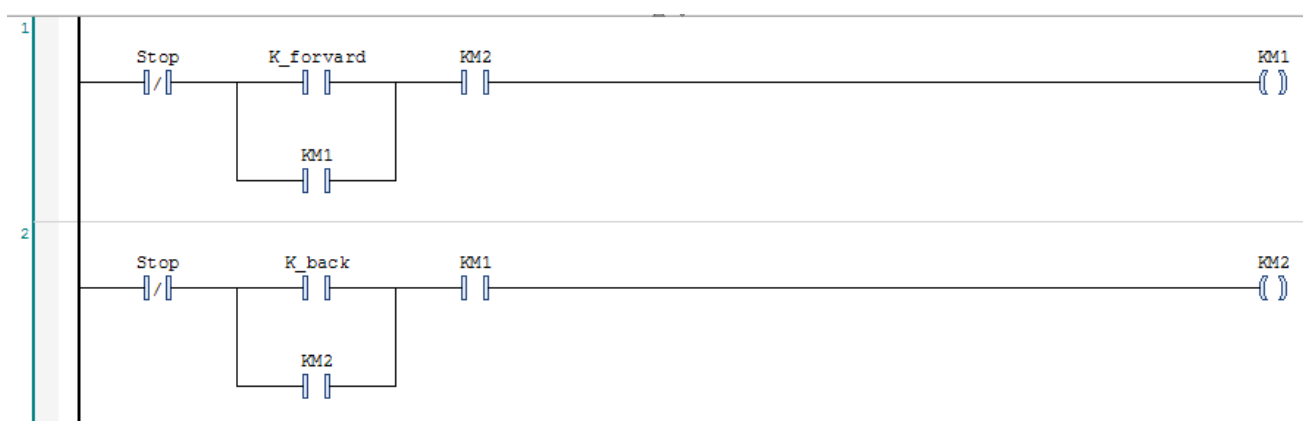


Рис. 3 – Схема пуска двигателя на языке LD

Таким образом, ПО Codesus 3.5 является самым совершенным и легко изучаемым для программирования контролеров. Это позволяет, даже студенту, не работающему на производстве, самостоятельно изучать и симулировать различные технические операции, а именно это является самым главным в изучении и освоении новых программ (возможность симулировать и отрабатывать все стандартные и нештатные ситуации на производстве).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Б. Лоскутов, А.А. Лоскутов, Д.В. Зырин. Программирование ПЛК в CoDeSys. Нижний Новгород: Типография НГТУ, 2018. 101 с.
2. В.А. Андреев. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. Москва: Издательство ВШК, 2006. 639 с.

3. Белых Д.В., Лицин К.В. Внедрение частотного привода в механизм перемещения крана-перегрузателя // Энергетика. Проблемы и перспективы развития. Изд-во: Тамбовский государственный технический университет (Тамбов), 2019. С. 82–84.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТА УПРАВЛЕНИЯ №7 НА ПРЕДПРИЯТИИ
АО «ОСКОЛЬСКИЙ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ»**

Михайлюк Е.А., Уваров Ю.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
yura.uvarov@bk.ru*

Аннотация. В статье рассматривается автоматизация поста управления №7 Сортопрокатного цеха №1 на Оскольском электрометаллургическом комбинате. Рассматривается проблема, которая затрудняет процесс проката металла на стане 700, стане 350.

Ключевые слова: Оскольский Электрометаллургический Комбинат; автоматизация; Пост Управления №7; электронный журнал; Oracle SQL;

AUTOMATION OF CONTROL STATION No. 7 AT THE ENTERPRISE OF JSC "OEMK"

Mikhailyuk E.A., Uvarov Y.N.

*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
yura.uvarov@bk.ru*

Abstract. The article discusses the automation of the control station No. 7 of the Rolling Shop No. 1 at the OEMK. The problem is considered that complicates the process of rolling metal on mill 700, mill 350.

Keywords: OEMK; automation; CS №7; electronic journal; Oracle SQL.

АО «Оскольский электрометаллургический комбинат» является первым и пока единственным в России предприятием, на котором в промышленном масштабе внедрены технологические принципы бездоменной металлургии. Новая технология, в основе которой лежат процесс прямого восстановления железа «MIDREX» и электродуговая плавка, позволила крупнейшему в Европе производственному комплексу данного типа выйти на

совершенно новый уровень качества металла, почти освобожденного от вредных примесей и остаточных элементов. [1]

Автоматизация является одним из ключевых моментов производства на любом предприятии. Ведь чем быстрее и проще производится продукт, тем меньше себестоимость. Снижение себестоимости сейчас является важной задачей в бизнес-системе "Окольский электрометаллургический комбинат". Именно поэтому предприятие каждый день вносит новые изменения в систему автоматизации производства. Информационный обмен с существующим в Сортопрокатном цехе 1 оборудованием автоматизации осуществляется со следующими объектами:

- системой управления цехом «АСУП СПЦ-1»;
- системой слежения «PR-MN»;
- контроллерами управления транспортом;

Рассмотрим нынешнюю схему обмена данными АСУП СПЦ-1 с АСУТП PR-OS СПЦ-

1

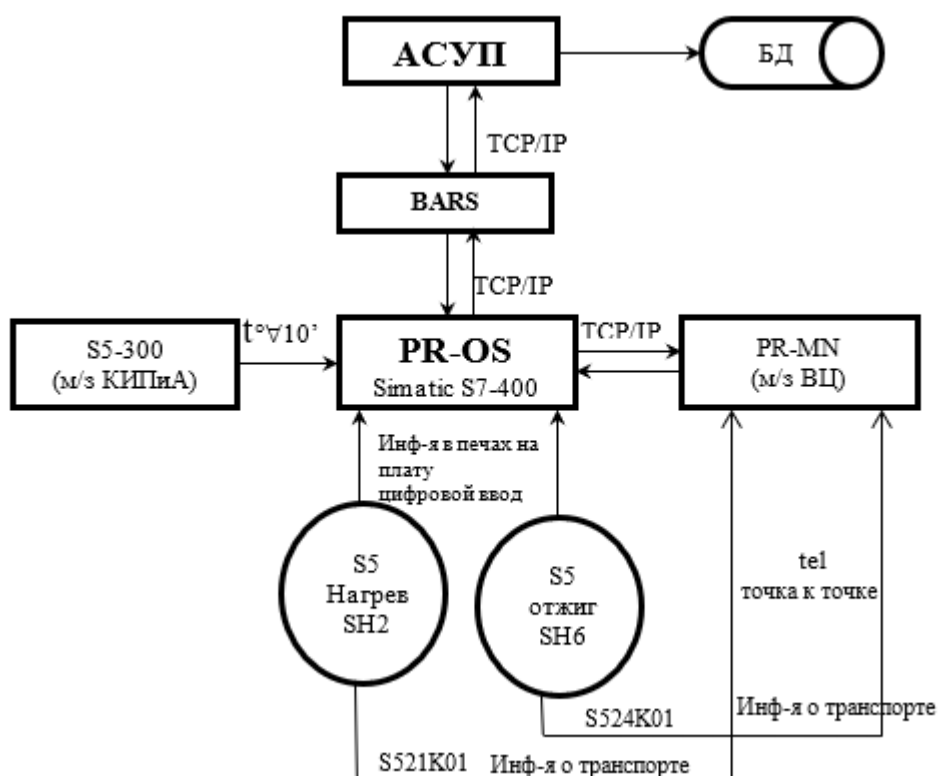


Рис. 1 – Схема обмена данными АСУП СПЦ-1 с АСУТП PR-OS СПЦ-1

Одним из контрольных пунктов проката металла в Сортопрокатном цехе №1 является Пост управления №7, где от скорости и качества работы оператора зависит темп выдачи металла на стан 700.

Рассматривая Пост управления №7 как как объект автоматизации можно выявить ряд проблем, которые могут затормозить темп стана при повышенной нагрузки на оператора. Одной из таких проблем является бумажный журнал, который заполняется оператором вручную. Во время большой нагрузки, как например посад коротких заготовок (4,2м - 6м) при выдаче металла с быстрой скоростью проката, оператор физически не успевает записывать, новые плавки и все их характеристики и одновременно заниматься посадом металла в печь.

Следующей проблемой бумажного журнала является низкая информативность. Как минимум в бумажном журнале отсутствует позаготовочное слежение плавков, что при ряде неисправностей может привести к потере данных или же трудностям отслеживания конкретной заготовки в процессе производства.

Так же с бумажным журналом появляется невозможность отслеживать начальством и управлением технического контроля посад и выдачу металла со своего рабочего места. В экономической и экологической сфере бумажный журнал так же является проблемой. Во-первых, это постоянные траты на печать большого количества журналов. Во-вторых, это трата природных ресурсов - бумаги.

Для решения данных проблем предлагается создать электронный журнал в составе АСУП. Данный журнал будет написан на языке программирования SQL Oracle. Данные о сажающей плавке будут поступать с Поста управления №4 находящегося на Складе литой заготовки. Оператор будет принимать плавку и эти данные будут автоматически заноситься в электронный журнал и храниться в базе данных SQL. Информация для позаготовочного слежения будет получаться системой с контролёров Simatic S7-400 [2], установленных в СПЦ №1. Среди преимуществ данной подсистемы будет упрощение работы оператора Поста управления №7 и последующей работой стана со сниженным количеством простоев и ошибок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОАО «Холдинговая компания «Металлоинвест» URL: www.metalloinvest.com
2. SIEMENS URL: new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-400.html

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Мустахитдинова Ю.А.

Казанский государственный энергетический университет, Россия, Казань

ymustakhitdinova@mail.ru

***Аннотация.** В современном мире автоматизация технологических процессов набирает все большую популярность среди предприятий, так как благодаря автоматизации уменьшается количество брака и расходов и увеличивается производительность труда. В данной статье рассматриваются вопросы, что такое автоматизации технологических процессов и для чего она нужна.*

Ключевые слова: автоматизация; предприятия; преимущества; недостатки; производство; процессы.

AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Mustakhitdinova Y.A.

Kazan State Energy University, Kazan, Russia

ymustakhitdinova@mail.ru

***Abstract.** In today's world, automation of technological processes is gaining popularity among enterprises, as automation reduces the number of rejects and costs and increases labor productivity. This article discusses what process automation is and what it is needed for.*

Keywords: automation; enterprises; advantages; disadvantages; production; processes.

Под автоматизацией подразумевается система производства, которая использует математические методы и инновационные технологии с целью минимизации участия человека в технологических процессах. Основными преимуществами этого сложного и специфического технологического процесса являются улучшение качества продукции, оптимизация процессов управления, повышение качества работы персонала, увеличение прибыли и много другое.

Но, несмотря на огромное количество преимуществ автоматизации, существуют и определенные затруднения в ее проведении. Среди них можно выделить такие, как возможные аварии на производстве, нехватка квалифицированных кадров, рост безработицы и трудоёмкость.

Автоматизация технологических процессов бывает трех видов: полная, частичная и комплексная. При полной автоматизации машинный труд полностью заменяет ручной. Эта автоматизация почти нигде не применяется, так как задачи контроля все равно должны оставаться в компетенции человека. Частичная автоматизация предусматривает свое распространение лишь на отдельные аппараты и машины. Под комплексной автоматизацией понимается изменения целых участков и цехов. Каждая отрасль предприятия имеет свою концепцию автоматизации, которая отвечает ее конкретным производственным потребностям.

Система автоматизации состоит из различных надежных и относительно простых в использовании устройств: датчиков, компьютеров, устройств ввода и вывода, контроллеров. Развитие технических средств автоматизации является очень сложным и трудоёмким процессом, которое требует огромных вложений. Но благодаря внедрению новейших устройств возможно повышение эффективности работы предприятий.

Таким образом, в данной статье рассмотрено понятие автоматизация, приведены основные ее принципы, преимущества и недостатки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цветаев С.С. Логачев К.И. Актуальные проблемы автоматизации промышленных предприятий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им В.Г. Шухова, 2012. №1. С. 54
2. Капустин Н.М. Автоматизация производственных процессов и производств // Высшая школа, 2014. С. 128

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЧЕЛОВЕКА

Назарова О.И., Гуликян Э.С.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Оскольский политехнический колледж,
город Старый Оскол
e-mail: opk_nazarova@mail.ru.ru*

Аннотация. Данная статья посвящена основным этапам разработки информационной системы для хранения биометрических данных человека.

Ключевые слова: информационная система; база данных; биометрические данные; методы машинного обучения; кластеризация.

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR STORING HUMAN BIOMETRIC DATA

Nazarova O.I., Gulikyan E.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", Oskol Polytechnical College,
town of Stary Oskol
e-mail: opk_nazarova@mail.ru.ru*

Abstract. This article is devoted to the main stages of the development of an information system for storing human biometric data.

Keywords: information system; database; biometric data; machine learning methods; clustering.

На сегодняшний день отпечаток пальца является основным и самым точным биометрическим идентификатором личности человека. Основано это на том, что каждый человек имеет уникальный рисунок линий на пальцах.

Каждый день огромное количество отпечатков пальцев собирается и обрабатывается различными организациями.

Вследствие больших размеров баз, данная задача может занять огромное количество времени.

Исторически сложилось, что самой популярной классификацией отпечатков является классификация Гальтона-Генри. Она основана на различных рисунках папиллярных линий. Однако у данного подхода есть недостаток, заключается он в том, что отпечатки пальцев людей распределяются неравномерно на эти пять классов, на один из классов приходится примерно 30% отпечатков на выборке из 222 миллионов пальцев. Из всего этого следует, что задача разбиения базы на группы и дальнейшее сопоставление отпечатка нужной группе - актуальная и важная задача [1].

Целью данной работы является применение методов машинного обучения при проектировании ИС для хранения и обработки отпечатков пальцев. В ходе работы были поставлены следующие задачи:

- Разработать систему, разделяющую базу отпечатков пальцев на кластеры и сопоставляющую отпечаток в нужный кластер.
- Сравнить результаты работы системы с существующими решениями задачи идентификации отпечатка пальца в базе.

Предметом работы является применение методов машинного обучения для проектирования ИС базы отпечатков пальцев.

Объектом данной работы является информационная система для хранения сведений об отпечатках пальцев.

Первые попытки классификации отпечатков были предприняты еще в 1892 году Гальтоном и в 1900 году Генри Эдвардом. Этот способ получил название классификация по Гальтону-Генри. На слайде можно увидеть 4 группы, на которые они разделяли отпечатки [1].

Для того, чтобы сравнивать алгоритмы, использовалось общепринятое для методов идентификации отпечатков пальцев понятие точность. Оно удовлетворяет следующей формуле: формула на слайде. Предполагается, что берется база отпечатков, далее для каждого отпечатка из базы рассматривается еще одно изображение этого пальца и подаётся на вход системе. Если после работы система соотносит отпечаток кластеру, в котором есть изображение этого пальца, то считается, что отпечаток попал в нужный кластер.

Всю работу системы, разработанной в рамках данной работы, можно разделить на несколько этапов. На первом этапе происходит подготовка базы изображений отпечатков для дальнейшей обработки. Каждое изображение заменяется на числовой вектор признаков, с которым удобнее работать. Далее база из векторов подвергается кластеризации, затем нейронная сеть глубокого обучения учится сопоставлять отпечатки пальца нужным кластерам.

Получение векторов признаков является очень важной составляющей работы нашей системы.

Недостатком данного подхода может являться то, что полученный вектор мог получаться очень большим и содержать много ненужных признаков.

Кластеризация решает задачу разбиения множества объектов на непересекающиеся кластеры, причем решение о разбиении принимается на основе собственной работы алгоритма.

Можно выделить 4 этапа кластеризации:

1. Получение характеристик из объектов.
2. Определение метрики.
3. Разделение на кластеры.
4. Получение результатов [2].

Глубокое обучение нейронных сетей – это одна из областей машинного обучения, позволяющая представлять данные на нескольких уровнях абстракции и позволяющая увеличивать сложность абстракции от уровня к уровню. Под глубиной понимается соответственно глубина графа вычислений от входных данных до выходных.

В рамках данной работы была рассмотрена модель нейронной сети под названием многослойный персептрон Румельхарта. На вход нейронная сеть получает базу, состоящую из векторов признаков, и метки кластеров для каждого вектора признаков из базы. Далее нейронная сеть обучается, а потом ей на вход подается новое изображение, и она соотносит изображение в один из кластеров.

Был произведен ряд экспериментов для выявления самых оптимальных методов получения вектора признаков и самого оптимального способа кластеризации базы. Оптимальность в данном случае измерялась точностью работы системы.

Эксперименты проводились следующим образом. Бралась конкретная конфигурация системы, с конкретным алгоритмом кластеризации и методом получения вектора признаков. Далее нейронная сеть обучалась с различным количеством нейронов в скрытых слоях. Для каждой конфигурации нейронов в скрытых слоях считалась точность соотношения нового изображения каждого пальца из базы нужному кластеру. Например, в нашем случае в базе 110 отпечатков, т.е. 110 различных людей. Далее брались 110 других изображений пальца этих же людей, и считалось, сколько отпечатков попало в кластер, в котором есть изображение искомого пальца, величина точности получалась по формуле методов идентификации отпечатков пальцев понятия точности.

Поставленная цель - применение методов машинного обучения при проектировании ИС для хранения и обработки отпечатков пальцев была достигнута. Проведен сравнительный анализ различных показателей. Данные проведенных экспериментов были сведены в общую таблицу. На основе полученных данных была спроектирована информационная система.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. История на кончиках пальцев [Электронный ресурс]: <http://www.cablook.com>
2. Tadviser Государство. Бизнес. ИТ [Электронный ресурс]: <http://www.tadviser.ru/>

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ ТУРИСТИЧЕСКОГО АГЕНТСТВА НА БАЗЕ ARDUINO С WEB-ИНТЕРФЕЙСОМ

Назарова О.И., Зырянова В.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Оскольский политехнический колледж,
город Старый Оскол
e-mail: opk_nazarova@mail.ru.ru*

Аннотация. Данная статья посвящена процессу проектирования информационной системы для автоматизации работы туристического агентства на базе Arduino с web-интерфейсом для привлечения клиентов, формирования доверия к туристической компании.

Ключевые слова: информационная система; Arduino; web-интерфейс; QR-код; программно-аппаратная платформа.

DESIGNING AN INFORMATION SYSTEM FOR AUTOMATING THE WORK OF A TRAVEL AGENCY BASED ON ARDUINO WITH A WEB INTERFACE

Nazarova O.I., Zirianova V.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", Oskol Polytechnical College,
town of Stary Oskol*

Abstract. This article is devoted to the process of designing an information system for automating the work of a travel agency based on Arduino with a web interface to attract customers, build trust in a travel company.

Keywords: information system; Arduino; web interface; QR code; hardware and software platform.

Продвижение турпродукта на рынок, его рекламы и реализации подготовленного турпакета является важной частью туристической компании, поскольку средства массовой информации, специальные издания и рекламные брошюры переполняются туристическими предложениями, которые добиваются внимания клиента, чтобы вызвать ответные действия на

соответствующую информацию. Поэтому для туристических предприятий большее значение приобретает автоматизированная система предоставления информации клиенту.

Проектирование информационной системы для автоматизации работы туристического агентства на базе Arduino с web-интерфейсом позволит предоставить посетителям ресурса структурированные данные о деятельности компании, ее товарах или услугах, а также разработать аппаратно-программное средство прототипа для привлечения клиента посредством взаимодействия с помощью QR-кода.

Таким образом, помимо основной задачи автоматизации, система сможет использовать входящие источники информации, программные, технические, организационно-технологические средства индивидуально. С помощью данной системы появится возможность пользователя превратить потенциального клиента подтолкнув к точке конечной конверсии, для совершения покупки.

Для реализации программно-аппаратной платформы были использованы следующие материалы:

- Arduino uno;
- Резисторы;
- Энкодер;
- Монитор;
- Деревянная доска «Страны мира»;
- Паяльный набор;
- Ёмкостные датчики;
- Сенсорная плата;
- USB кабель.

На начальном этапе разработке было определено требование, что корпус, на который будут закрепляться датчики должен быть в размере 28х40 см, а состав содержать древесноволокнистую плиту средней плотности, пробку, сталь, а также помещён в цветную раму. Таким образом была найдена доска со схематичным изображением карты мира с названиями стран.

На следующем этапе разработке важно было учитывать физическую программируемую печатную плату и часть программного обеспечения, используемого для записи и загрузки компьютерного кода на физическую плату. Arduino uno — это одна из печатных плат Arduino с открытым исходным кодом, используемых для создания электронных проектов, которое работает на упрощенной версии C++, но также может взаимодействовать с другим программным обеспечением.

Одна из поставленных задач в ходе разработки это связь между датчиками и платой с программным обеспечением Arduino, которую удалось реализовать с помощью готовой библиотеки CapacitiveSensor. Благодаря этому емкостные сенсоры реагируют на касания, таким образом, прикрепив их к поверхности доски получается интерактивная обратная связь с участием веб-страницы.

Для взаимодействия платы с веб-интерфейсом понадобится USB - кабель, так как данные передаются на персональный компьютер.

Идея разработки заключается в том, что создается глобальное соединение между человеком и платой Arduino, которая получает сигнал и передает его на экран в виде видеоизображения. Когда происходит касание, сигнал становится больше, и, если входное число изменяется, прикосновение измеряется как положительное. Используя этот метод в разработке, металлическая кнопка является емкостным датчиком на деревянной доске. Сторона «контроллера» сделана с помощью Arduino где емкостные датчики используются для выбора стран, а поворотный энкодер для переключения между странами. Данные передаются на веб-интерфейс в виде триггеров. Для обеспечения правильной работы была разработана схема подключения, показанная на рисунке 1.

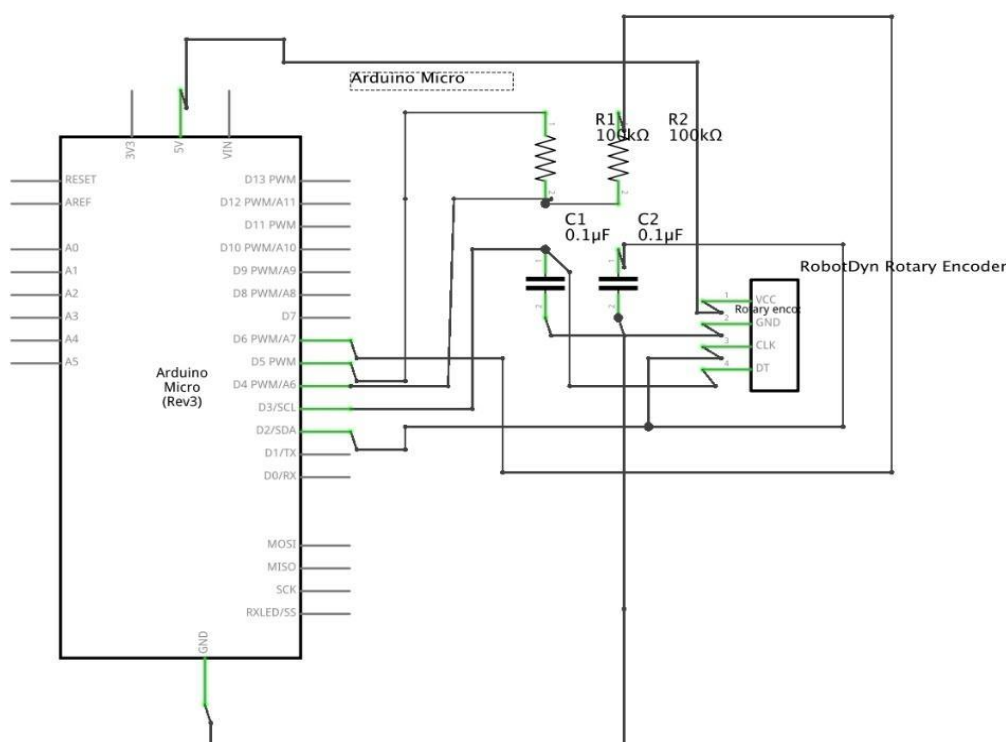


Рис. 2 – Схема подключения

Первое, что делает программа, это вызывает метод, который отслеживает движения энкодера. Энкодер выдаёт прямоугольные импульсы, и посчитав эти импульсы, программа

понимает, насколько шагов повёрнут энкодер. Сам подсчёт реализуется в программе контроллера.

Второе, что делает программа, это проверяет значения емкостных датчиков, которые по умолчанию имеют два состояния 1 и 0. Как только программа считает изменения, то начинает показывать картинку или видео, к которой закреплён датчик.

Для полноценной работы информационной системы туристического агентства на базе Arduino было необходимо разработать web-интерфейс для привлечения клиентов. На начальном этапе была построена диаграмма входных и выходных данных, представленная на рисунке 2.



Рис. 2 – Диаграмма входных и выходных данных

Декомпозиции системы была представлена в виде диаграммы потоков работ, которая является принципом решения трудных задач путём разбиения их на множество меньших независимых задач, лёгких для решения.

На рисунке 3 представлена декомпозиция диаграммы следующего уровня, которая отображает процесс работы системы до перехода на сайт.

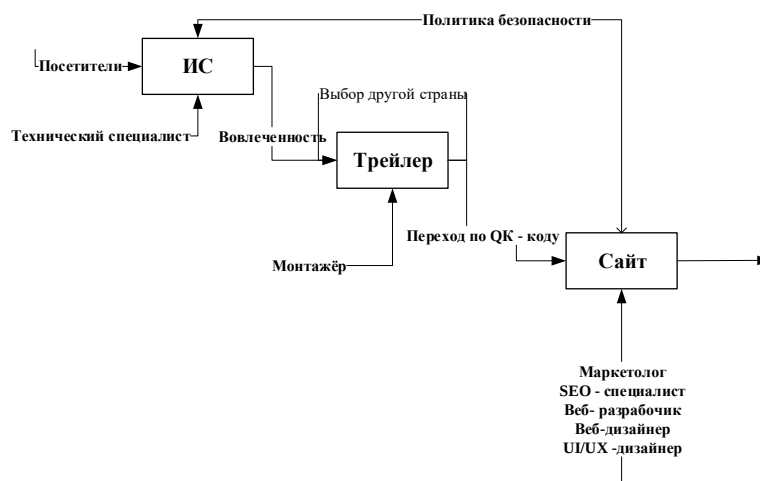


Рис. 3 – Декомпозиция основных процессов

Первым этапом при взаимодействии информационной системы являются посетители. Это важный критерий работы в системе, так как чем больше охват посетителей, тем вероятнее на выходе получить готового клиента, оформляющего тур. Далее не менее важным шагом на входе является вовлеченность, которая мотивирует посмотреть трейлер – видеоматериал, в котором наглядно показывают все достоинства выбранной страны. В видео посетителя побуждают сделать целевое действие, переход по QR-коду, которое заставляет самостоятельно перейти на сайт, чтобы повысить конверсию.

Второй этап предполагает выбор. Если посетитель окончательно определился с выбором тура, то на входе он преобразуется в потенциального клиента, где с помощью механизма турагента оформляет свою турпоездку. Иначе посетитель оставляет заявку на форме обратной связи и в течение определённого времени ждёт ответа на консультацию, где менеджер по продажам закрывает все вопросы и потребности клиента плавно подводя к выбору тура, где условием служат визовые вопросы, решения которых обговаривают турагент и посетитель, что по итогу пользователя сайта превращает в потенциального клиента, который с твёрдой уверенностью готов оформить поездку.

Связь локального интерфейса с системой управления взаимоотношениями с клиентами, была реализована с помощью QR - кода расположенного в нижнем правом углу веб-страницы, прикрепленного к видеоматериалу, как показано на рисунке 4.



Рис. 4 – Пример работы веб-страницы

Таким образом, соединив на всех этапах проектирования разработку аппаратной и программной части получили систему, которая позволит осуществлять быстрый и функциональный обмен информации между туроператором и клиентом с помощью информационных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по работе с Arduino: [Электронный ресурс] – <https://arduinomaster.ru>
2. Ветитнёв А.М (2017). Информационные технологии в туристической индустрии.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТНОГО ПУТИ

Назарова О.И., Новиков Д.Э.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Оскольский политехнический колледж,
город Старый Оскол
e-mail: opk_nazarova@mail.ru.ru*

Аннотация. Данная статья посвящена разработке информационной системы для автоматизированного свода, учета и нахождения минимальных затрат времени на перевозку товара с использованием алгоритмов нахождения оптимального пути.

Ключевые слова: информационная система; система управления базами данных; база данных; язык программирования; сетевой граф; кратчайший путь; алгоритм оптимизации.

DESIGNING AN INFORMATION SYSTEM MODULE TO BUILD AN OPTIMAL ROUTE

Nazarova O.I., Novikov D.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", Oskol Polytechnical College,
town of Stary Oskol
e-mail: opk_nazarova@mail.ru.ru*

Abstract. This article is devoted to the development of an information system for automated input, accounting and finding the minimum time spent on the transportation of goods using algorithms for finding the optimal path.

Keywords: information system; database management system; database; programming language; network graph; shortest path; optimization algorithm.

В современном мире предпринимаются и создаются все необходимые условия, для комфортной, удобной и как можно менее энергозатратной деятельности человека.

Практически все задачи, связанные с доставкой и распределением товаров, являются задачами такого подраздела экономики, как логистика. Именно эта отрасль занимается изучением способов построения как можно более коротких маршрутов для оптимизации работы по распределению, перевозке и доставке товаров. Нахождение кратчайшего пути –

необходимо и используется практически везде, начиная от нахождения оптимального маршрута между двумя объектами, например на местности или в программе, до нахождения оптимального маршрута при перевозках, автопилотировании и т.п.

Актуальность темы заключается в широком применении различных методов и теорий о нахождении кратчайших путей в цепи. В данной статье будет рассмотрен алгоритм «Дейкстры» для построения оптимального маршрутного пути.

Объектом исследования является граф с взвешенными дугами для алгоритма транспортных путей.

Предметом исследования является изучение поиска оптимальных путей на основе алгоритма «Дейкстры».

Для разработки программного приложения была выбрана программа Microsoft Visual Studio 2013, язык C# и система управления реляционными базами данных Microsoft SQL Server.

На первом этапе были выявлены потоки входной и выходной информации рассматриваемой предметной области и построена диаграмма, изображенная на рисунке 1.



Рис. 1 – Диаграмма потоков входных/выходных данных

Общий алгоритм работы программного приложения представлен на рисунке 2

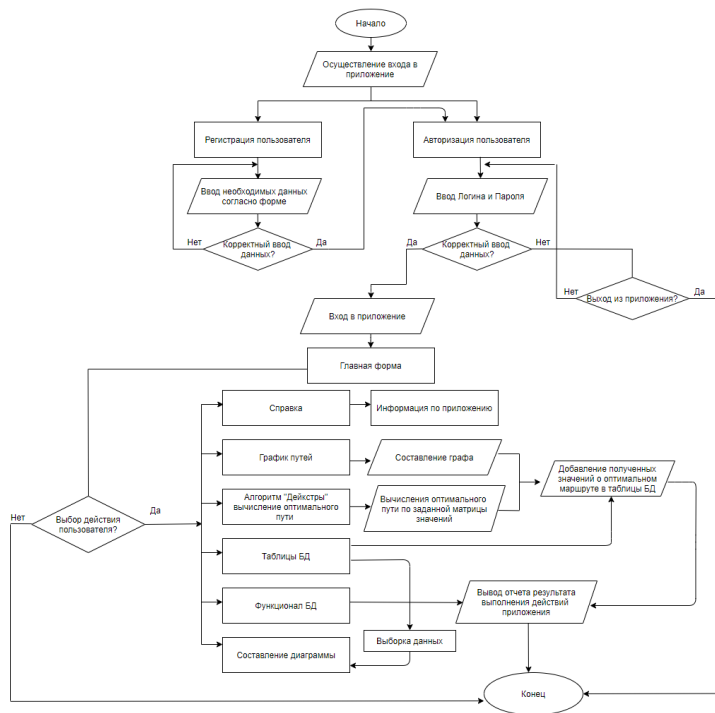


Рис. 2 – Общий алгоритм работы программы

Начальным и обязательным этапом при работе с приложением является регистрация и авторизация пользователей. Форма с основными компонентами изображена на рисунке 3.

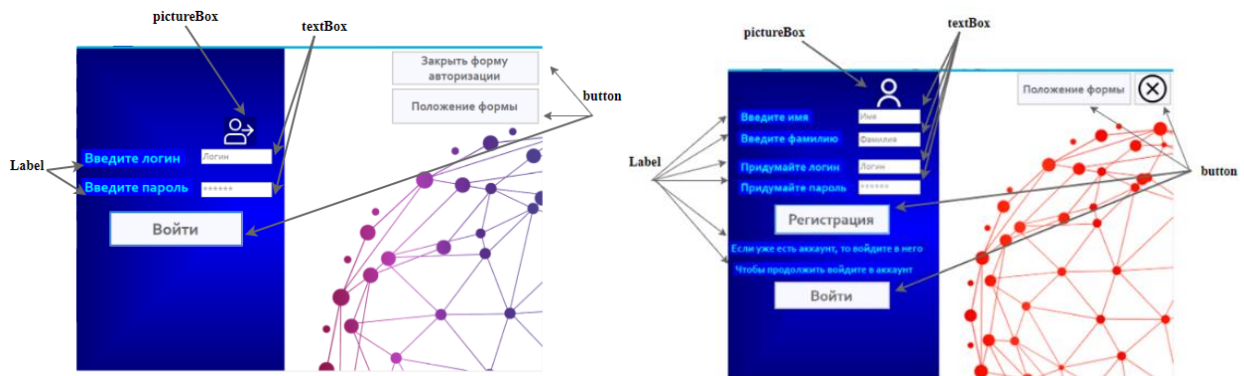


Рис. 3 – Форма регистрации/авторизации

Главная форма представлена на Рисунке 4.

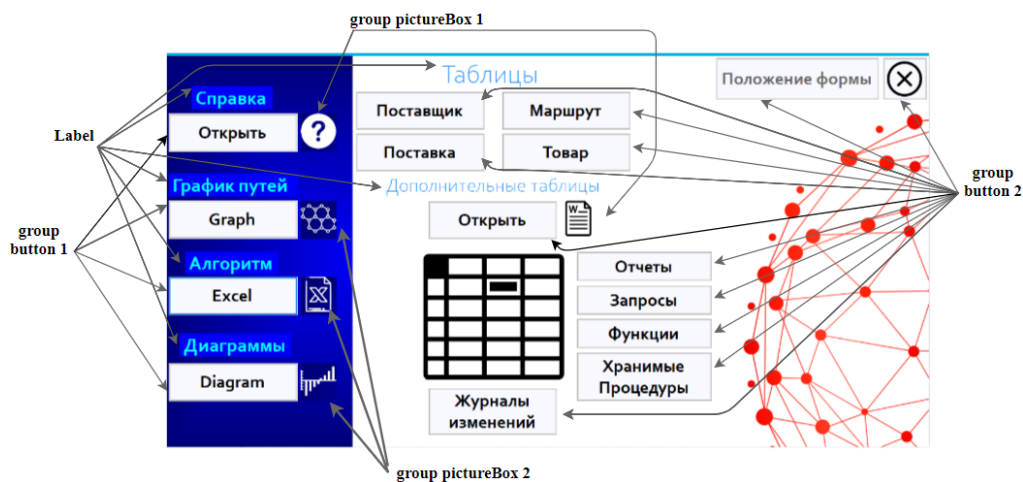


Рис. 4 – Главная форма

На ней показаны основные и дополнительные компоненты для работы с приложением. На главной форме в левой части, присутствуют кнопки «Graph», «Excel», «Diagram» и справка с кнопкой «Открыть». В дополнительной части главной формы представлены кнопки для работы с основными и дополнительными таблицами БД.

Главным модулем данной программы, является модуль построения. Форма для построения графа изображена на рисунке 5, на ней представлены стандартные компоненты для постройки графа, присутствует возможность представить данные матрицы значений, как в цифровом, так и в буквенном виде, также нахождение матриц инцидентности и смежности по кнопкам «Цепи». При нажатии кнопки «Excel», открывается форма алгоритма нахождения оптимального пути на основе алгоритма «Дейкстры», на форме представлена матрица значений, редактируемая пользователем и граф, по которому происходит вычисление. При заполнении матрицы значениями в соответствующие ячейки, компонент «Определить маршрут» отобразит получившийся результат графа на форме в виде небольшой таблицы.

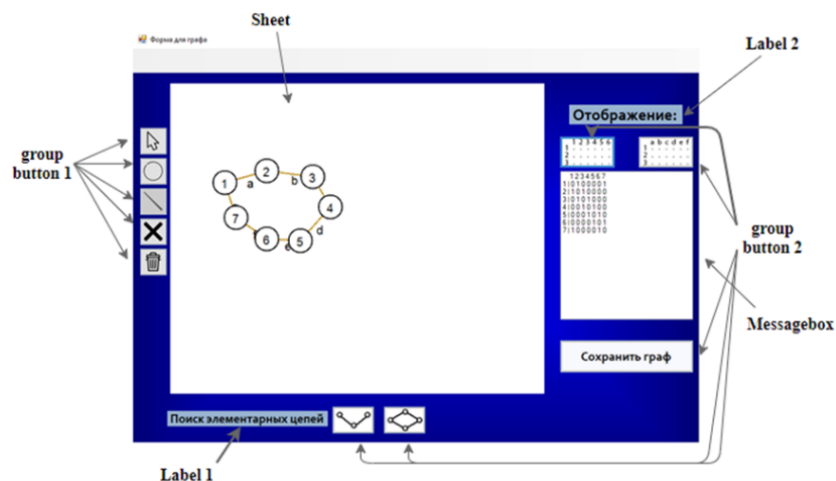


Рис. 5 – Граф

Алгоритм Дейкстры позволяет найти кратчайший путь между двумя любыми вершинами графа или кратчайший путь сети между заданным исходным и любым другим узлом.

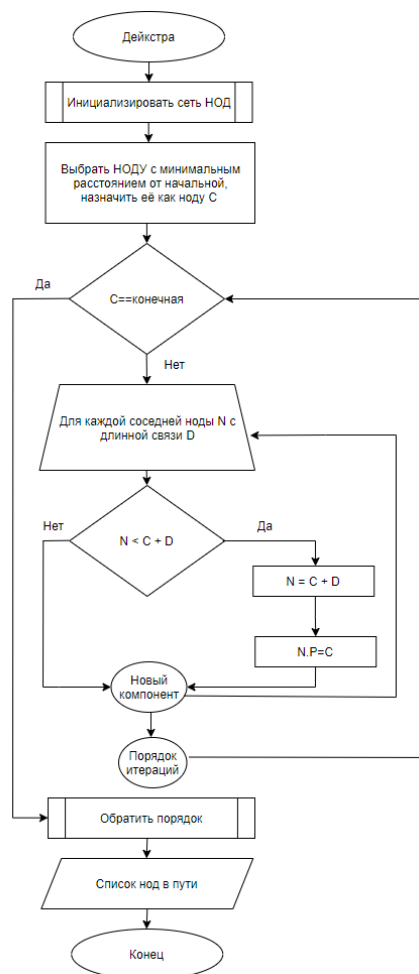


Рис. 6 – Алгоритм «Дейкстры»

Разработка информационной системы и ее применение позволит найти решение (путь), благодаря которому организация сможет сэкономить время и деньги. Интеграция программных приложений позволит более точно представить обозначенную задачу, и найти оптимальное значение. В данной работе было организована связь клиентского приложения с офисной программой «Excel». Форму представлена на рисунке 7.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЯВОЧНОЙ КАМПАНИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ ООО «РУДСТРОЙ»

Михайлюк Е.А., Кудрявцева К.Ю.

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

Аннотация. Заявочная кампания на строительном предприятии ООО «Рудстрой» плохо автоматизирована. В статье рассматривается задача оптимизации труда руководителя строительными проектами. Приводится примерное решение проблемы с помощью средств разработки 1С, в частности: замены процесса выгрузки из MS Excel на документ в информационной системе «Управление проектами».

Ключевые слова: заявочная кампания; автоматизация; 1С; MS Excel;

OPTIMIZATION OF THE BID CAMPAIGN AT THE LLC "RUDSTROY" ENTERPRISE

Mikhailyuk E.A., Kudryavtseva K.Y.

*Sary 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, Sary Oskol, microdistrict named after Makarenko, 42
kristina.kudryavtseva.2018@inbox.ru*

Abstract. The bid campaign at the construction company LLC "Rudstroy" is poorly automated. The article deals with the task of optimizing the work of a construction project manager. An approximate solution to the problem with the help of 1C development tools is given, in particular: replacing the process of unloading from MS Excel with a document in the information system "Project Management".

Keywords: application campaign; automation; 1C; MS Excel;

ООО «РУДСТРОЙ» - крупная строительная компания горно-металлургической отрасли, которая обеспечивает выполнение полного цикла строительно-монтажных работ на производственных объектах группы компаний «МЕТАЛЛОИНВЕСТ».

Приоритетной задачей в развитии строительной компании считается повышение эффективности строительно-монтажных работ путём снижения доли ручного труда и

повышения уровня стратегического планирования строительства. Всё это позволит с уверенностью смотреть в будущее и создать потенциал для реализации крупных проектов группы МЕТАЛЛОИНВЕСТ силами объединенной строительной компании. [1]

Автоматизация работы людей считается одним из не маловажным аспектом развития предприятия. Предприятие ООО «РУДСТРОЙ» каждый день старается прогрессировать, усовершенствовать свои информация системы.

Рассматривая рабочее место руководителя проектов ООО «РУДСТРОЙ», были выявлены проблемы в автоматизации одного из процесса в заявочной кампании.

Заявочная кампания позволяет предприятию планировать своим потребности в материалах. Результатом проведения заявочной кампании является формирование, на основе утвержденных потребностей, плана закупок, сбалансированного по номенклатуре, финансовому обеспечению и периодам поставки.

Руководитель проекта на одном из этапов планировании стратегии строительства необходимо отправить заявку на ресурсы в отдел комплектации. Данный этап проиллюстрирован на Рис.1

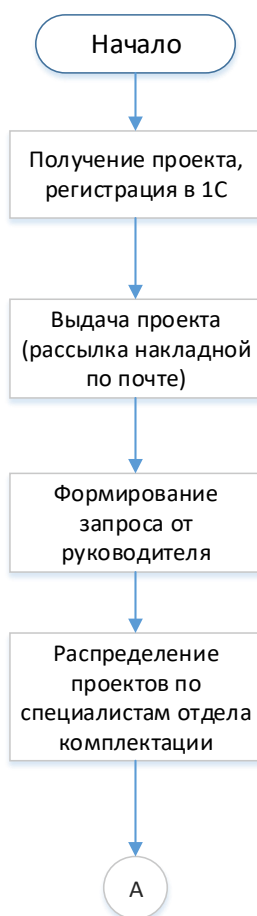


Рис. 1 – Фрагмент алгоритма заявочной кампании.

В настоящий момент процесс отправки заявки на комплектацию происходит путем выгрузки проектов из 1С «Управление проектами», личной разработанной конфигурации предприятия, в MS Excel.

Данный способ неудобен руководителю проектами. Возникает проблема в уверенности, что будут охвачены все проекты, так как в MS Excel можно удалить строки с информацией. Руководителю каждый раз необходимо выгружать всю документацию. Данный этап нуждается в оптимизировании.

Оптимальным является такое управление производственным предприятием, которое позволяет в сжатые сроки обрабатывать возрастающие потоки информации и использовать необходимое число содержащихся в ней показателей. Следовательно, выстраивание эффективных механизмов управления возможно лишь с помощью развития информационной структуры предприятия как единого информационного пространства. [2]

Одним из способов решения проблемы отправки заявки, является создания нового документа в конфигурации 1С «Управление проектами».

Новый документ «Заявка На Комплектацию» будет основываться на регистре сведений, чтобы фиксировать информацию о статусе заявки. А также появится новый элемент отчет для отражения информации о статусе заявки.

Руководителю будут выгружаться в форму «Список Документа» проекты со статусами «Нет запроса на комплектацию» и подвязанные за данным ним. Руководителю необходимо будет в документе сменить статус на «Запрос на комплектацию, указать сроки комплектации, проекта и провести его. По регламенту запрос на комплектацию подается в отдел комплектации за 90 дней до начала выполнения работ. После проведения документа, он больше не вернется к руководителю для изменения, для изменения нужно будет создать новый заявку с актуальной датой.

Руководитель отдела комплектации просматривая регистр сведений, изменяет статусы заявок на «Принят в отдел комплектации».

Все эти процедуры будут реализоваться в программном продукте 1С. Предприятие уже его использует и отмечает удобство пользования.

Среди преимуществ можно отметить максимальное удобство работников, так как в сжатые сроки обрабатываются возрастающие потоки информации и можно использовать только необходимое число содержащихся в ней показателей. Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что применение данного нововведения позволит уменьшить число ошибок в результате планирования нового проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ООО РУДСТРОЙ // Рудстрой.рф URL: <http://рудстрой.рф/> (дата обращения: 6.11.2021).
2. Денис Капулин, Александр Кузнецов, Елена Носкова Информационная структура предприятия. - Сибирский федеральный университет Оглавление, 2014. - 270 с.

РАЗРАБОТКА ЕДИНОГО ПОРТАЛА ПРИЛОЖЕНИЙ HYDRA НА ОСНОВЕ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ С СИСТЕМОЙ УЧЕТА ПРАВ ДОСТУПА

Михайлюк Е.А., Мерцалов С.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
varmox@bk.ru*

Аннотация. В статье рассматривается задача проблемы редактирования и внедрения приложений в эксплуатацию. Приводится примерное решение проблемы в виде микросервисного подхода. Также рассматривается проблема учета прав доступа.

Ключевые слова: микросервисы; разработка; .NET; Blazor;

DEVELOPMENT OF A UNIFIED PORTAL OF HYDRA APPLICATIONS BASED ON MICROSERVICE ARCHITECTURE WITH ACCESS RIGHTS ACCOUNTING SYSTEM

Mikhailyuk E.A., Mertsalov S.A.

*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
varmox@bk.ru*

Abstract. The article deals with the problem of editing and putting applications into operation. An approximate solution to the problem in the form of a microservice approach is given. The problem of accounting of access rights is also considered.

Keywords: microservices; development; .NET; Blazor;

МФК «Саммит» - одна из ведущих компаний реализующую деятельность на финансовом и IT рынках. Данная компания занимается выдачей займов (кредитов), коллекшеном, и разработкой IT продуктов для других организаций. Основана в 2011 году.

Рассмотрим более подробно бэк-офис в городе Старый Оскол ООО «ИТ Центр», который реализует IT-продукты внутри компании, так и за ее пределами.

Приоритетной задачей в такой компании является непрерывная работа: подразумевается, что любой человек, нуждающийся в деньгах в ту или иную минуту мог

воспользоваться услугами и мог получить займ. Это достигается путем четкой отладки нового функционала в уже существующий, быстрое реагирование на массовые инциденты в работе и грамотный сервис. Всё это предоставляет возможность реализовать потенциал для реализации роста компании как на рынке, так и в глазах заёмщика.

Автоматизация работы является важнейшей задачей для такого рода компаний, так как заявок может быть слишком много. ООО «ИТ Центр» с каждым днем прогрессирует в усовершенствовании своей информационной системы.

Рассматривая процесс работы в отделе разработки .NET, были выявлены проблемы с учетом прав доступа и редактированием параметров микросервиса с последующим вводом в эксплуатацию.

Процесс выпуска сервисов в продакшн является важной задачей. Не мало важно, чтобы выведенный сервис работал без ошибок и не привел к некорректной работе системы. Сервис выполняет одну конкретную функцию, например, выгрузка в НБКИ, Эквифакс, ОКБ, запрос скоринга и решение по выдаче займов через Логином, скачивание файла о террористах.

Поэтому в рамках данной работы рассматривается разработка единого портала приложений на микросервисной архитектуре с целью внедрения ряда приложений для каких-то надстроек сервиса с подключением системы учет прав доступа.

Система учет прав доступа – это такой компонент, который не позволит на квалифицированному сотруднику не повредить функционал системы какими-либо правками. С учетом того, что в портал будут внедрены приложения, в которых можно дополнять или менять сам сервис это является очень важным моментом.

Еще помимо того, что сами сервисы являются Web API приложениями без пользовательского интерфейса. Следовательно, для того, чтобы их внедрить, необходимо сделать UI для сервисов. Интерфейс будет создан на основе Blazor, который является новейшим аналогом для веб-фреймворков.

Для примера расскажу про сервис, связанный с Федресурсом. У него есть свой функционал, отправка задачи через брокер сообщений в сервис с дальнейшей кодировкой и подписью сертификатом о юр. лицах.

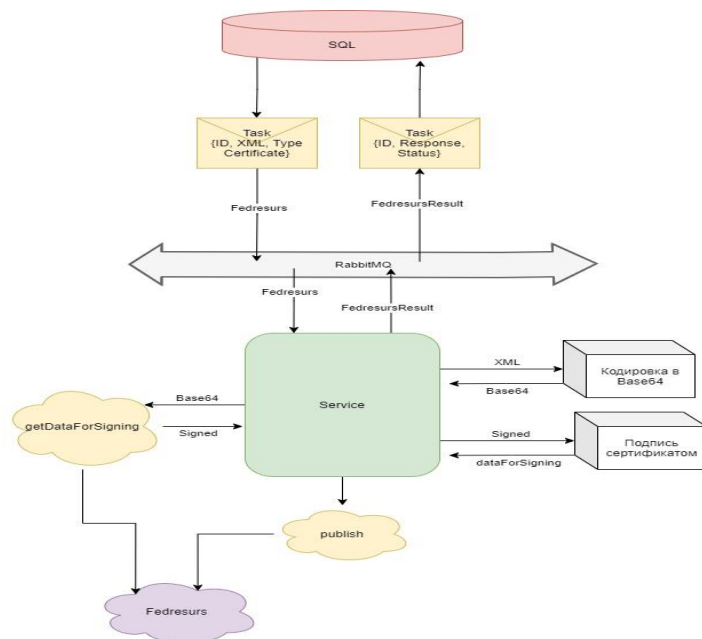


Рис. 1 – Алгоритм работы сервиса Федресурс

Чтобы внедрить в портал необходим графический интерфейс.

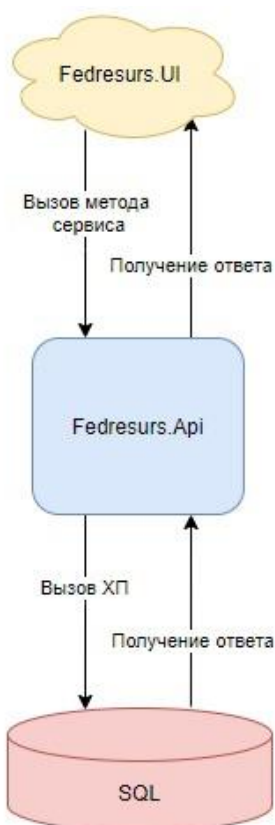


Рис. 2 – Алгоритм работы UI Федресурс

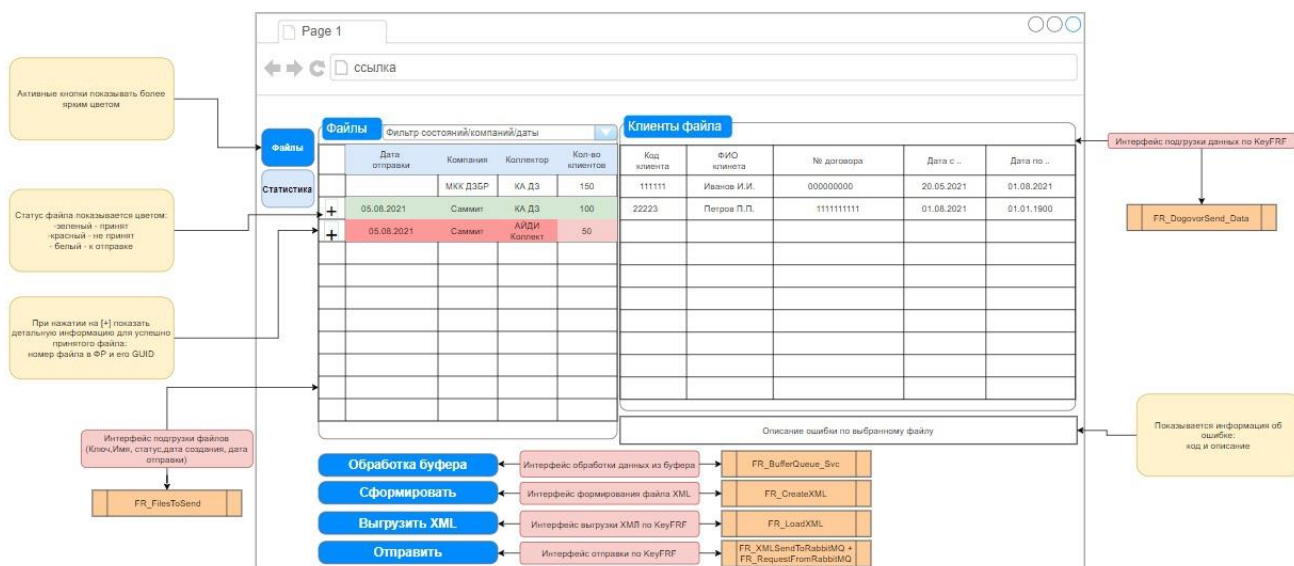


Рис. 3 – Примерный интерфейс внутри портала приложений Федресурс

Актуальность проблемы состоит в удобстве использования сервисов во время эксплуатации и в поддержке бизнеса. А также предостережет от изменений сотрудника, не имеющего доступ к тому или иному компоненту сервиса.

Система учет прав доступа строится на том, что есть роли (администратор, наблюдатель, сотрудник) и группы (по отделам разработки). У каждого сотрудника в компании есть свой uuid, индивидуальный токен доступа для взаимодействия с сервисами путем прямых запросов к ним (POST, GET).

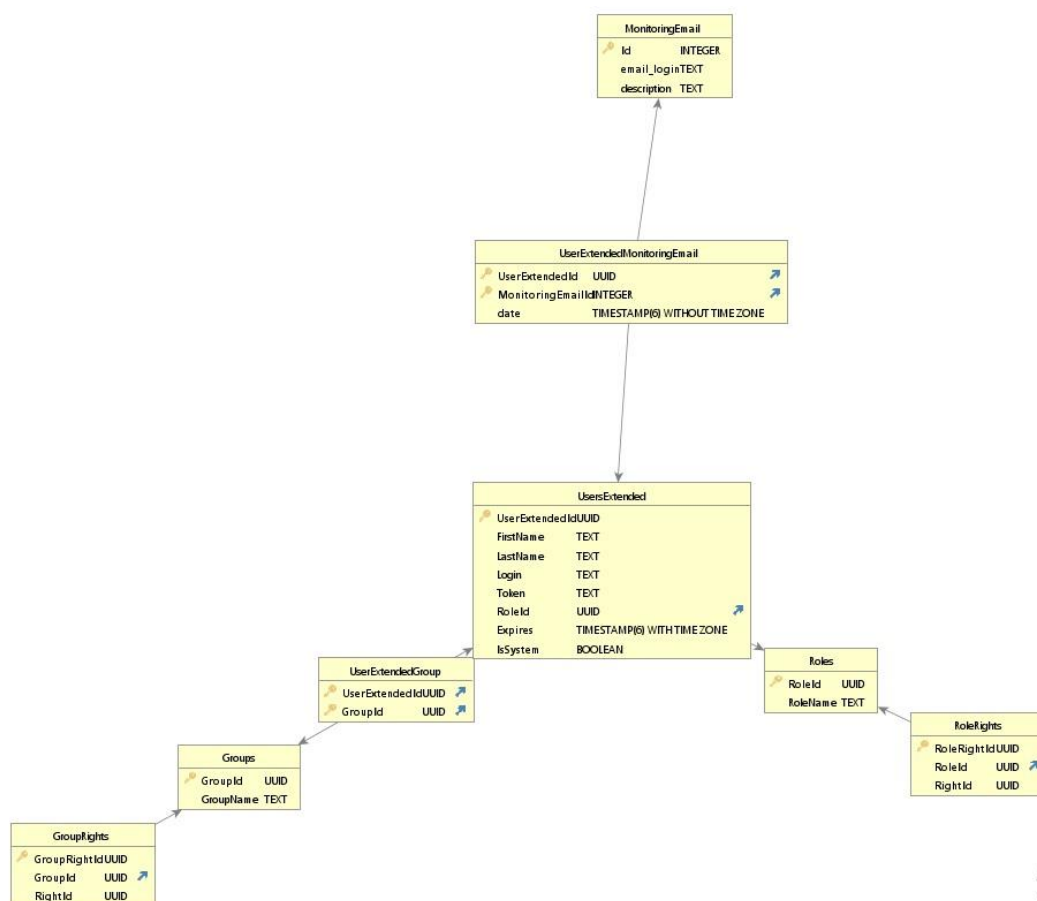


Рис. 4 – БД «Авторизация».

В настоящий момент процесс корректировок сервисов очень затруднен. Необходимо его полностью развернуть у себя на локальном компьютере, прежде чем делать какие-либо правки. Это является очень неудобным и времязатратным процессом.

Но после внедрения приложения в эксплуатацию, изменять какие-то параметры в нем станет намного удобнее и практичнее. В дальнейшем планируется увеличивать портал и внедрять туда новый функционал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хабр // Архитектура микросервисов URL: <https://habr.com/ru/company/vk/blog/320962/> (дата обращения: 7.11.2021).
2. Крис Ричардсон. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга. – Издательство «Питер», 2012. - 544с.

КОГЕНЕРАЦИЯ КАК СРЕДСТВО ОПТИМИЗАЦИИ

Моторина Н.П.¹, Тетеревлёва Е.В.²

¹Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС», Старый Оскол

²Ухтинский государственный технический университет, Ухта

Аннотация. Статья посвящена понятию когенерационной технологии на базе источников энергоснабжения для совместной выработки тепла и электроэнергии. Переход на локальные газовые и дизельные электростанции – это, прогрессивное решение проблемы энергоснабжения. Можно значительно уменьшить общее потребление топлива путем применения когенерации - совместного производства электроэнергии и тепла.

Ключевые слова: когенерация; энергоснабжение; нефтегазовая отрасль; локальные газовые и дизельные электростанции.

COGENERATION AS A MEANS OF OPTIMIZATION

Motorina N.P.¹, Teterevleva E.V.²

¹Stary 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

²Ukhta State Technical University, Ukhta

motorina.np@misis.ru

Abstract. The article is devoted to the concept of cogeneration technology based on energy supply sources for joint generation of heat and electricity. Switching to local gas and diesel power plants is a progressive solution to the problem of energy supply. It is possible to significantly reduce the total fuel consumption by using cogeneration - the joint production of electricity and heat.

Keywords: cogeneration; energy supply; oil and gas industry; local gas and diesel power plants.

В настоящее время в мировой энергетике накоплен большой опыт эксплуатации автономных источников электрической энергии и тепла, которые обеспечивают прочную технологическую связь между производством электрической энергии, тепла и холода.

Переход на локальные газовые и дизельные электростанции – это, прогрессивное решение проблемы энергоснабжения, сокращение сроков ввода новых мощностей и расходов

на строительство ЛЭП, уход от неэффективного инвестирования крупных долгосрочных проектов. Выбор природного газа в качестве энергоносителя для двигателей оправдывается его приемлемой ценой на внутреннем рынке [1].

Самостоятельные энергоисточники не являются альтернативными энергосистеме, а лишь дополняют ее, повышая надежность обеспечения потребителей.

Практика эксплуатации мини-ТЭЦ показывает, что они хорошо работают как в автономном, так и в аварийном режимах и используются для покрытия длительных или пиковых нагрузок [2].

Говоря об автономном энергоснабжении, следует отметить возможность получения не только электрической энергии, но и тепла. Обычный (традиционный) способ получения электроэнергии и тепла заключается в их раздельной генерации (электростанция и котельная). Можно значительно уменьшить общее потребление топлива путем применения когенерации - совместного производства электроэнергии и тепла (рис. 1).

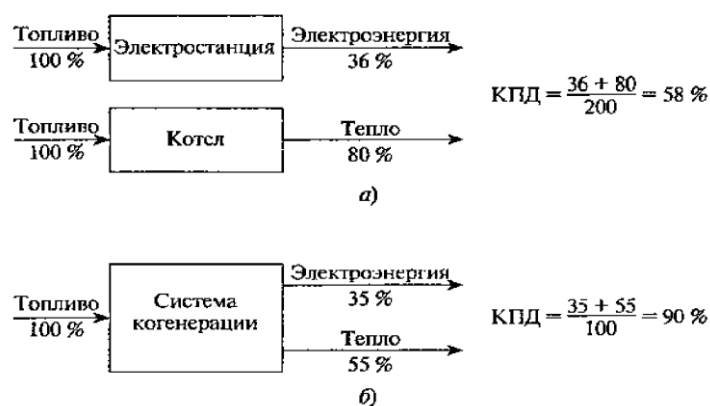


Рис. 1 – Производство электроэнергии и тепла: а – раздельное; б - когенерация

С использованием когенерационной технологии коэффициент полезного использования топлива (КПД) мини-ТЭЦ возрастает до 87 - 92 % (у классической электростанции он достигает 36 %), что не только дает ощутимую экономию собственных средств, но и значительно упрощает получение лимитов на топливо и разрешительной документации.

Мини-ТЭЦ также позволяют на основе утилизируемой, или вторично используемой энергии, вырабатывать не только тепло, но и в ряде случаев холод, используя современные адсорбционные установки. Этот процесс называется тригенерацией [3].

В настоящее время в мини-ТЭЦ, в основном, используются четыре вида силовых агрегатов, приводящих в движение генераторы, и, соответственно, вырабатывающих тепло и электроэнергию:

- газотурбинные установки (ГТУ);
- двигатели внутреннего сгорания, работающие на различных видах топлива, газообразном (ГПУ) или жидком (ДЭС);
- силовые установки, построенные на сочетании паровых котлов и турбин;
- микротурбины.

Использование когенерационных установок с применением поршневых двигателей внутреннего сгорания (ПДВС), работающих на пропане или природном газе является одним из возможных решений задачи когенерации.

Применение ПДВС может обеспечить приемлемое для бюджета страны или регионов развитие энергетической инфраструктуры и положительные изменения в экономике государства в целом или конкретного региона.

Применение газообразного топлива в ДВС в последнее время получило значительное распространение. Это обусловлено следующими причинами:

- повышением разницы в стоимости газообразного и жидкого топлива;
- существенно меньшими выбросами вредных веществ у газотопливных двигателей в сравнении с работающими на жидком топливе;
- растущей сетью газоснабжения.

Среди двигателей внутреннего сгорания на газообразном топливе можно выделить следующие:

1. Дизельные двигатели, конвертированные для частичного сжигания газа - двухтопливные дизели. В процессе эксплуатации количество потребляемого в них жидкого топлива может изменяться от 100% до 10-15%. Остальная топливная часть – это природный газ, смешивающийся на входе в двигатель с воздухом.

2. Газопоршневые дизели, основным топливом в которых выступает газ, а незначительная часть жидкого топлива для воспламенения топливовоздушной смеси впрыскивается либо в цилиндр, либо в специальную форкамеру.

3. Чисто газовые газопоршневые двигатели, которые работают только на газовом топливе и не используют жидкое.

Обычно двигатели подразделяются на 3 группы: малые, средние и большие.

Малые – имеют мощность менее 250 л.с. (менее 190 кВт). Это, как правило, работающие по 2х и 4х тактному циклу с 4-мя – 6-ю цилиндрами, довольно редко оснащенные турбонаддувом.

Средние – имеют мощность в диапазоне 250-1000 л.с. (200-750 кВт) и используются на передвижных электростанциях и других потребителях механической энергии. Число

цилиндров у таких двигателей колеблется в диапазоне 6-12. Эти двигатели оснащаются турбонаддувом [4].

Большие – имеют мощность более 750 кВт; эти уникальные двигатели источников основного и резервного энергоснабжения на крупных предприятиях и стационарных электростанциях. В своем большинстве они работают в стационарном режиме по двухтактному циклу с турбонаддувом. По условиям надежности и долговечности частота вращения вала таких двигателей не превосходит 500-750 об/мин.

Преимуществами когенерационных установок с поршневыми газовыми двигателями (ПГД) являются:

1. Небольшая стоимость установленной мощности за 1 кВт.
2. Безопасность, заключающаяся в отсутствии высоких давлений, температур и моментов инерции, свойственных ГТУ.
3. Срок службы ПГД - до 300 000 моточасов, или 37 лет, при эксплуатации по 8 000 часов в год делает когенерационные установки на их основе надежным источником бесперебойного энергопитания.
4. Экологическая эффективность.
5. Мобильность.
6. Широкий диапазон рабочих режимов - от 15-20% до 110% номинальной мощности при соответствующем расходе топлива.

ПГД окупают себя в течение 3-5 лет, а автономность когенерационных установок на их основе, производящих тепло и электроэнергию в месте потребления, гарантирует отсутствие аварийных отключений или перебоев, неизбежных ввиду изношенности тепловых и электрических сетей. Когенерационные установки обеспечивают решение важной проблемы суточного неравномерного потребления электрической энергии, которая трудноразрешима для крупных установок [5].

Основное требование, которое необходимо выполнить при модернизации промышленной печи на основе когенерационной технологии, состоит в обеспечении неизменности ее технических характеристик и, в первую очередь, - температуры и тепловой мощности. Это требование удовлетворяется за счет соблюдения материального баланса модернизированной и базовой печей и равенства их тепловых мощностей.

В общем случае комплекс работ по реализации когенерационной технологии включает в себя следующие стадии:

- энерготехнологическое обследование объекта заказчика, оценка существующего положения, прогнозирование изменений производства и потребления энергоресурсов;

- оптимизацию существующих тепловых потоков и параметров теплоносителей у потребителей тепловой энергии;
- оптимизацию баланса потребления и производства тепловой и электрической энергии, выбор количества и типов электрогенерирующих установок;
- разработку схемы привязки электрогенерирующего оборудования к тепловой и электрической схемам заказчика;
- оценку капитальных затрат на внедрение электрогенерирующих установок и сроков окупаемости;
- оптимизацию режимов эксплуатации теплоэлектрогенерирующего оборудования, а также режимов теплоэлектропотребления после внедрения автономного энергокомплекса [1].

Важным результатом предпроектной проработки должна явиться оценка эффективности мероприятий по внедрению когенерационных технологий.

При установке на объекте тепловых двигателей необходимо произвести определенные капиталовложения в оборудование и строительные работы. С вводом установки в эксплуатацию увеличивается расход топлива на объекте, связанный с производством нового продукта - электроэнергии, возрастают затраты на обслуживание, но уменьшаются затраты на электроэнергию для собственных нужд; в принципе, может быть получен доход от продажи избытка электроэнергии в энергосистему.

Условием эффективной работы когенерационной установки может служить следующее неравенство

$$C_{\text{э}} \cdot N_{\text{э}} \cdot \tau_{\text{э}} - C_{\text{т}} \cdot b_{\text{э}} \cdot N_{\text{э}} \cdot \tau_{\text{э}} - a \cdot \Delta K - \Delta C_{\text{обсл}} > 0, \quad (1.1)$$

где $C_{\text{э}}$ - тариф на электроэнергию;

$N_{\text{э}}$ - электрическая мощность КОУ;

$\tau_{\text{э}}$ - число часов использования электрической мощности установки;

$C_{\text{т}}$ - цена топлива;

$b_{\text{э}}$ - удельный расход топлива на выработку электроэнергии;

a - коэффициент отчислений, включающий реновацию, затраты на ремонт и коэффициент эффективности капиталовложений E_n , ($a = a_{\text{рен}} + a_{\text{рем}} + E_n$);

ΔK - капиталовложения, связанные с созданием установки;

$\Delta C_{\text{обсл}}$ - дополнительные затраты на обслуживание когенерационной установки.

Неравенство (1.1) получено при условии, что тепловые показатели объекта после его модернизации остались без изменения [2].

Выводы: Имея понятие о том, что такое когенерационная установка, о том, какими она обладает достоинствами и недостатками, что необходимо осуществить для её реализации, можно сделать выводы, что применение Мини-ТЭЦ рентабельно устанавливать на нефтегазоперерабатывающих и химических заводах, предприятиях стекольной, бумажной, машиностроительной, текстильной и пищевой промышленности, в крупных административных и торговых центрах и больницах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повышение эффективности отдельных видов энергооборудования // А.В. Коротков, Н.В. Погодин, И.И. Артюхов// Разработка, внедрение и опыт применения нового электрооборудования для нефтегазовых предприятий: материалы Всероссийского совещания энергетиков нефтяной и газовой промышленности. СПб., 2002.—С.44.
2. Регламент ПАО «Транснефть» и АО «Транснефтьэнерго». [Электронный ресурс]. – URL: <https://transneftenergo.transneft.ru>. (дата обращения 13.11.2021).
3. Состояние и перспективы развития систем возбуждения синхронных генераторов, установленных на объектах ОАО «Газпром» /И.И. Артюхов, А.В. Коротков, Н.В. Погодин // Новые техника и технологии в электроэнергетике ОАО «Газпром»: материалы научно-технического совета (Москва, ноябрь 2011г.) Ч.1.—М.: ИРЦ Газпром, 2012.—С.110-114.
4. Регламент ПАО «Газпром нефть» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gazprom-neft.ru/company/> (дата обращения 13.11.2021).
5. Регламент ООО «Газпром трансгаз Ухта» [Электронный ресурс]. – URL: [https://www. https://ukhta-tr.gazprom.ru/](https://www.https://ukhta-tr.gazprom.ru/) (дата обращения 13.11.2021).

О ВОЗМОЖНОСТИ СИТУАЦИОННОГО ПОДХОДА К ОПЕРАТИВНОМУ ПЛАНИРОВАНИЮ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Боева Л.М., Коврижных О.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
boeva@inbox.ru, kovroles@mail.ru*

Аннотация. В статье обосновывается актуальность задачи оперативного планирования и корректировки ранее построенного расписания сталеплавильного производства. Авторы предлагают совместить математические методы и модели со знаниями ЛПР в рамках СППР. Ситуационный подход позволяет задавать алгоритмы управления на абстрактном уровне с учетом априорных знаний о ситуациях и может служить основой для применения других методов искусственного интеллекта в области построения производственного расписания для уменьшения сопутствующих издержек.

Ключевые слова: СППР (система поддержки принятия решений); КГ (контактный график); ситуационный подход; оперативное управление; технологическая координация; производственное расписание.

POSSIBILITIES OF THE SITUATIONAL APPROACH TO OPERATIONAL PLANNING OF STEELMAKING PRODUCTION

Boeva L.M., Kovrizhnykh O.A.

*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
boeva@inbox.ru, kovroles@mail.ru*

Abstract. The article substantiates the relevance of the task of operational planning and adjustment of the previously constructed schedule of steelmaking production. The authors propose to combine mathematical methods and models with the knowledge of the LPR within the LPR framework. Situational approach allows to set control algorithms at the abstract level, taking into account the a priori knowledge of situations and can serve as a basis for the application of other methods of artificial intelligence in the field of construction of production schedules to reduce the associated costs.

Keywords: decision support system; contact schedule; situational approach; operational management; technological coordination; production schedule.

Основной целью оперативного управления производством является составление согласованных производственных планов для подразделений предприятия и обеспечение их выполнения.

Задача оперативного управления сложным производством в условиях нестабильности обычно решается в два этапа:

- первоначальное сменно-суточное планирование. Целью этого этапа является согласование работы основных технологических агрегатов цеха (для электросталеплавильного цеха – ДСП, АКOC, УВО, МНЛЗ) в соответствии с портфелем заказов на планируемый период. Выходной результат, как правило, оформляется в виде контактного графика, представляющего собой подробное расписание работы всех агрегатов цеха в течение смены.

В условиях АО «ОЭМК» КГ составляется с учетом:

- незавершенных плавов предыдущей смены,
- поплавочного списка заказов на смену,
- времени освобождения агрегатов от уже начатых плавов,
- последовательности остановки агрегатов на ремонт или по другим причинам,
- длительности обработки плавов на каждой технологической стадии,
- ограничений, накладываемых способом разлива «плавка на плавку»,
- случайных и других факторов.

Оптимальный контактный график электросталеплавильного цеха должен, прежде всего, удовлетворять условию обеспечения требуемой серийности плавов при минимальном суммарном времени простоев агрегатов. При этом необходимо соблюдение ограничений, накладываемых требованиями к конкретной марке стали, и особенностями технологического процесса данного производства:

- корректировка плана в темпе производства (при возникновении незначительных рассогласований с текущей производственной ситуацией вследствие сбоев, аварий, что требует сдвига расчетного времени выполнения технологических операций) или полное перепланирование (при невозможности реализации первоначального плана).

Для оперативного планирования и управления сталеплавильным производством в условиях ОЭМК используется система SteelPlanner компании AIS, которая включает в себя мощные программные компоненты для управления и улучшения рабочих параметров производственных операций и выполнения производственных процессов [1].

Ее компонент AlphaPlanner включает в себя все необходимые функции для управления заказами стали и их атрибутами. Информация о заказах обрабатывается с помощью расширенных алгоритмов поиска, выбора и оптимизации в целях автоматической генерации оптимальных графиков разливки, которые учитывают практические ограничения процесса разливки, ограничения технологических потоков (как в предыдущих, так и в последующих переделах) и другие ограничения, определяемые пользователем.

Пользовательский интерфейс AlphaPlanner позволяет разработчику графика определять или настраивать ключевые параметры планирования, делая возможными расширенные настройки и управление стратегией планирования, адаптируя их в ответ на изменчивые условия и требования производства. Последовательности разливки, сгенерированные AlphaPlanner, могут быть просмотрены в графическом виде, настроены вручную (отредактированы) разработчиком графика.

Существуют две версии AlphaPlanner - для суточного и недельного планирования. На ОЭМК программа используется лишь на этапе недельного планирования производства электросталеплавильного цеха. Попытка ее внедрения для сменно-суточного планирования не позволила решить все связанные с ним проблемы, и особенно - с корректировкой плана в ходе производства при возникновении внештатных ситуаций по техническим (например, поломка узла агрегата) или технологическим (например, застывание металла в кристаллизаторе МНЛЗ) причинам. AlphaPlanner требует ввода очень большого количества параметров, что на этапе корректировки плана занимает много времени и не вписывается в темп производства.

Таким образом, задача оперативного планирования сталеплавильного производства остается по-прежнему актуальной.

Анализ математических методов построения контактных графиков в работах [2-8] показал, что они применимы к идеализированным моделям сталеплавильного производства. Это резко сокращает время, в течение которого прогнозируемое развитие событий будет совпадать с действительным ходом производства. Кроме того, в рассмотренных моделях отсутствуют механизмы «выживания» КГ в случае возникновения нештатных ситуаций. Большая часть предложенных методик предназначена для конвертерного производства, однако электросталеплавильный процесс является более сложным и длительным, марочник продукции сложнее, требования по качеству стали более жесткие.

Поэтому в настоящее время оперативное планирование и управление сталеплавильным производством на АО «ОЭМК» по-прежнему реализуются управленческим и оперативно-диспетчерским персоналом цеха (начальником ПРБ цеха, начальником смены с привлечением диспетчеров и бригадиров на пультах управления агрегатов) на основе собственного опыта и базы ранее принятых рациональных решений.

Несмотря на высокий профессионализм и навыки ЛПП построенный «вручную» КГ не всегда является оптимальным, что сказывается на живучести полученного решения в ходе его реализации. При необходимости корректировки КГ в темпе производства появляется еще одна проблема – избыточное время реакции человека на возникшее рассогласование.

Авторам представляется, что решением проблемы оптимизации сменно-суточного плана может быть совмещение наиболее приемлемых к условиям сталеплавильного производства математических методов и моделей построения производственного расписания со знаниями ЛПП в рамках СППР. Алгоритмической основой построения ССПР может быть ситуационный подход [8], основанный на обнаружении ситуаций из заранее определенного множества и принятии управленческих решений, ассоциированных с этими ситуациями.

Его применение в системах управления техническими объектами позволяет задавать алгоритмы управления на абстрактном уровне с учетом априорных знаний о ситуациях и может служить основой для применения других методов искусственного интеллекта.

Рассмотрим сущность ситуационного подхода применительно к решаемой задаче построения и корректировки КГ. Разбиение цеха на объекты предлагается выполнять по агрегатно-операционному принципу, т.е. выделяется совокупность технологических агрегатов и отдельных операций, выполняемых на этих агрегатах на различных этапах электросталеплавильного процесса.

Электросталеплавильный процесс можно представить в виде иерархической ситуационной модели, представляющей собой множество оптимальных по совокупности заданных критериев вариантов развития технологического процесса:

$$C_i = \{\text{ИД}; P_{\text{опт}}; P_{\text{пл}}; P_{\text{ф}}\} \quad (1)$$

где C_i – i -я ситуация, ИД – идентификатор ситуации, $P_{\text{опт}}$ – набор оптимальных значений контролируемых параметров, $P_{\text{пл}}$ – набор плановых значений параметров, $P_{\text{ф}}$ – набор фактических значений контролируемых параметров.

В соответствии со способом разбиения цеха на объекты можно выделить ситуации:

1) верхний уровень – технологические ситуации (плавка в ДСП, внепечная обработка на УПА, разливка на МНЛЗ)

$$C_{\pi i} = \{\text{ИД}; K_{\text{agr}kj}; \Phi_3; M_j; N_c; t_1; t_2\} \quad (2)$$

где C_{ti} – i-я технологическая ситуация, K_{agrkj} – код агрегата, ФЗ – флаг состояния занятости, M_j – марка стали, N_c – номер плавки в серии, t_1 – время начала технологической операции, t_2 – время завершения технологической операции.

2) средний уровень (детализация состояния) – операционные ситуации (завалка скрапа на ДСП, подготовка МНЛЗ к разливке);

3) нижний уровень (большая детализация) – элементарные ситуации (выпуск металла из ДСП, транспортировка стальной ванны от одного агрегата к другому).

Совокупность технологических ситуаций образует контактный график

$$KG = \{C_i\} | t_{cm} \quad (3)$$

На рисунке 1 представлена ситуационная модель электросталеплавильного процесса, на котором обозначены С – технологические ситуации, О – операционные ситуации, Э – элементарные ситуации.

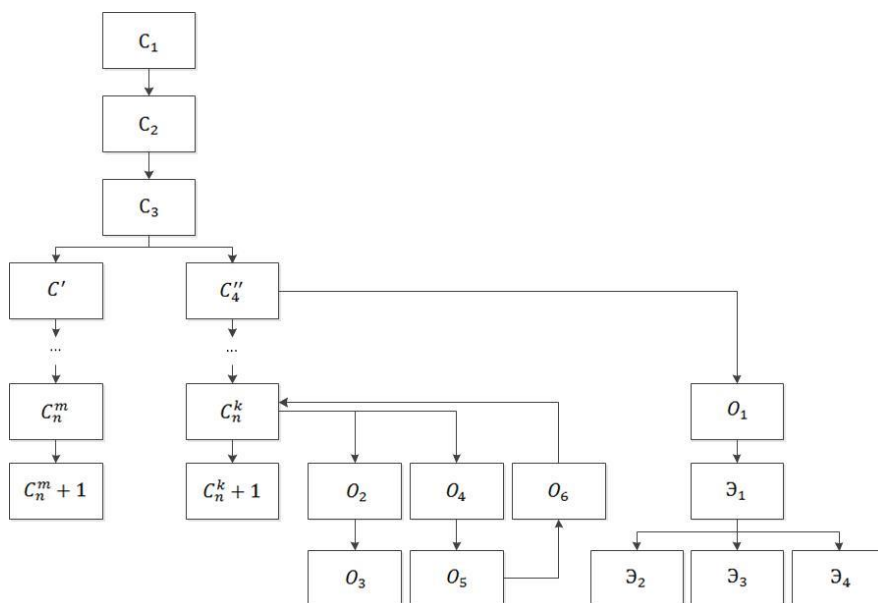


Рис. 3 – Ситуационная модель электросталеплавильного процесса

Ситуации идентифицируются по следующим условиям:

- занятость агрегатов;
- наличие/отсутствие отклонения от плана;
- наличие/отсутствие разрешенных переходов и т.д.

Предлагаемый алгоритм укрупнено представляет собой последовательность циклически повторяющихся шагов:

- 1) формирование и уточнение ситуационной модели КГ;

2) сравнение текущей фактической ситуации с плановой при наступлении некоторого события, которым может быть получение от системы слежения за технологическим процессом сообщения о начале или завершении технологической операции, наступлении планового момента контроля, нештатные события (например, отсутствие свободного крана во внепечном пролете для транспортировки сталь-ковша);

3) идентификация текущей ситуации;

4) определения условий перехода и правил, применимых к этой ситуации;

5) изменение параметров системы.

Ситуационная модель формируется следующим образом. Состоянию электросталеплавильного процесса в момент времени t_i соответствует ситуация C_i . В зависимости от фактических значений параметров определяется множество условий и правил перехода, применимых к этой ситуации, и формируется множество ситуаций $\{C_{i+1}\}$, из которого далее выбирается одна или несколько равнозначно оптимальных по некоторому критерию. Критерии, в свою очередь, могут быть глобальными (учитываются для всех возможных ситуаций), так и локальными (характерными только для определенных ситуаций):

$$KP_i = \{ИД_k; Id; K_{\Pi}; З_{\Pi}\} \quad (4)$$

где $ИД_k$ – идентификатор критерия, $ИД$ – идентификатор ситуации, K_{Π} – код контролируемого параметра, $З_{\Pi}$ – плановое значение контролируемого параметра.

Далее рассматриваются возможные из выбранной ситуации переходы

$$C_i \rightarrow C_{i+1} \text{ IF (условие) THEN (действие)} \quad (5)$$

Процесс продолжается до тех пор, пока не будет сформирован контактный график (т.е., сформирована очередь серии марок из технического задания по агрегатам).

Построенный контактный график корректируется в соответствии с фактическими значениями контролируемых параметров. Если рассогласование не превышает допустимого предела, то производится только уточнение плановых значений контролируемых параметров, например, изменение расчетного времени окончания операции. Наличие рассогласования, превышающего допустимый предел, свидетельствует о нештатной ситуации. Для электросталеплавильного производства это может быть нарушение химического состава плавки, поломки и аварии технологических агрегатов, запланированные ремонты.

Ситуационный подход позволяет выявить нештатные ситуации на ранней стадии рассогласования, что существенно повышает вероятность «выживания» составленного графика работы.

В зависимости от величины рассогласования, типа операции, на которой зафиксировано отклонение от плана, её номера в технологическом процессе, формируется набор дополнительных правил, позволяющих перейти в разрешенную ситуацию. Из всех возможных вариантов выхода из нештатной ситуации определяется один, предпочтительный по значению заданного критерия (или несколько вариантов, если оценки равнозначны).

Для реализации ситуационного подхода по каждому агрегату должны быть выделены типы неисправностей и их последствия, на основе анализа которых формулируются критерии и цели ликвидации отклонения. Необходимо составить перечень возможных вариантов (правил и условий переходов) устранения незначительных отклонений (например, корректировка скорости разливки, объема промковша, преднамеренная задержка операции (буфер времени), переназначение агрегатов).

Представляется, что реализация алгоритма ситуационного подхода к составлению КГ в составе СППР позволит сократить время на принятие решений при первоначальном планировании и корректировке плана в темпе производства. Кроме того, повысит качество оперативного управления, что приведет к улучшению использования производственных мощностей, уменьшению нештатных и аварийных ситуаций за счет повышения четкости организации производства, отслеживании состояния оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боева Л.М., Цуканов М.А. Интеллектуальная система ситуационного управления сталеплавильным производством. – Старый Оскол, 2016. – 154 с.
2. Кудрин Б.И. Авдеев В.А., Буторин В.К. Модели и алгоритмы оперативного управления комплексом сталь-прокат в условиях информационной неопределённости - М.: Электрика, 1997.
3. Водяник А. Г., Кравченко В. П. Оперативная координация работы агрегатов участка конвертеры — внепечная обработка — непрерывная разливка // Известия вузов. Черная металлургия, 1995.- №6.- С.40-43.
4. Буйницкая В. М., Гранковский В. И. Оптимальное планирование работы сталеплавильного цеха с непрерывным литьем заготовок.//Известия вузов. Черная металлургия, 1995.-№6.-С.40-43.

5. Организация производства стали по технологической цепи конвертер - внепечная обработка - МНЛЗ на комбинате «Азовсталь» // Известия вузов. Черная металлургия, 1995.- №6.- С.40-43.
6. Исследование условий согласованной работы конвертеров и МНЛЗ // Известия вузов. Черная металлургия, 1995.- №6.- С.40-43.
7. Комарова Н. Д., Ересковский О. С. Оптимизация функционирования оборудования кислородно-конверторного цеха // Известия вузов. Черная металлургия, 1995.- №6.- С.40-43.
8. Роменец В. А., и др. Повышение серийности разливки металла на МНЛЗ./ В. А. Роменец, И. П. Ильичев, А. И. Иванов // Известия вузов. Черная металлургия, 1995.- №6.- С.40-43.
9. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. – М.: Наука, 1986.

ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Попова Е.М.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, Белгород

Email: empkat@yandex.ru

Аннотация. *В настоящей статье представлены современные системы поддержки принятия решений, а также методы для анализа и выработки систем принятия решений. Рассмотрены методы анализа иерархий, нейронных сетей и генетических алгоритмов.*

Ключевые слова: системы поддержки принятия решений; метод анализа иерархий; генетические алгоритмы; нейронные сети.

DECISION SUPPORT TECHNOLOGIES

Popova E.M.

Belgorod National Research University, Russia, Belgorod,

Email: empkat@yandex.ru

Abstract. *This article presents modern decision support systems, as well as methods for analyzing and developing decision-making systems. The method of hierarchy analysis, the method of neural networks and genetic algorithms are considered.*

Keywords: decision support systems; hierarchy analysis method; genetic algorithms; neural networks.

Современные системы поддержки принятия решения (СППР) представляют собой системы, максимально приспособленные к решению задач повседневной управленческой деятельности, являются инструментом, призванным оказать помощь лицам, принимающим решения (ЛПР). С помощью СППР может производиться выбор решений некоторых неструктурированных и слабоструктурированных задач, в том числе и многокритериальных. СППР, как правило, являются результатом мультидисциплинарного исследования, включающего теории баз данных, искусственного интеллекта, интерактивных компьютерных систем, методов имитационного моделирования. В настоящее время нет общепринятого определения СППР, поскольку конструкция СППР существенно зависит от вида задач, для решения которых она разрабатывается, от доступных данных, информации и знаний, а также

от пользователей системы. Можно привести, тем не менее, некоторые элементы и характеристики, общепризнанные, как части СППР.

СППР в большинстве случаев — это интерактивная автоматизированная система, которая помогает пользователю использовать данные и модели для идентификации и решения задач и принятия решений. Система должна обладать возможностью работать с интерактивными запросами с достаточно простым для изучения языком запросов. Системы поддержки принятия решения возникли как естественное развитие и обобщение управленческих информационных систем и систем управления базами данных в направлении их большей пригодности и приспособленности к задачам повседневной управленческой деятельности.

Классификация систем поддержки принятия решений представлена на рисунке 1.

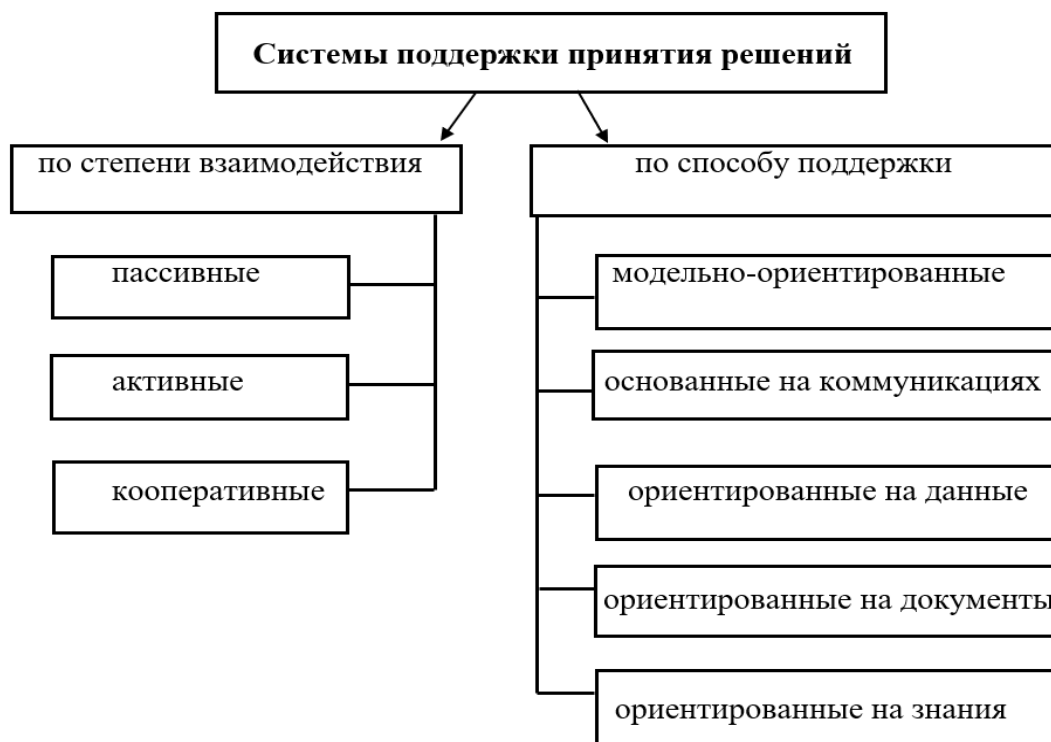


Рис. 1 – Классификация СППР

В настоящее время во всем мире менеджеры воспринимают системы поддержки принятия решений как один из факторов, способствующих получению преимуществ в условиях рыночной конкуренции. СППР предполагают достаточно глубокую проработку данных, специально преобразованных так, чтобы их было удобно использовать в ходе процесса принятия решений. Неотъемлемым компонентом СППР являются правила принятия решений, которые на основе агрегированных данных подсказывают менеджерскому составу выводы. Такого рода системы создаются только в том случае, когда

структура управления уже достаточно определена и имеются основания для обобщения и анализа не только данных, но и процессов их обработки. Таким образом, СППР — это не просто развитие системы оперативного управления, это механизм развития предприятия, который включает в себя некоторую часть управляющей системы, обширную систему внешних связей предприятия, а также технологические и маркетинговые процессы развития производства.

В той или иной степени элементы автоматизированной поддержки принятия решений присутствуют в любой информационной системе (ИС). Поэтому, осознанно или нет, к задаче автоматизации процесса принятия решений организации приступают сразу после приобретения вычислительной техники и установки программного обеспечения. По мере развития предприятия, упорядочения его структуры и налаживания межкорпоративных связей, проблема разработки и внедрения СППР становится особенно актуальной.

В настоящее время существует множество информационных технологий, позволяющих предельно облегчить жизнь и помочь в решении проблем, связанных с процессами принятия решений в различных предметных областях. Рассмотрим распространенные методы системы поддержки принятия решений.

1. Метод анализа иерархий (МАИ), разработанный американским ученым Т. Саати, состоит в декомпозиции проблемы на более простые составные части и дальнейшей обработке последовательности суждений эксперта по парным сравнениям. Иерархия считается полной, если каждый элемент заданного уровня связан со всеми элементами последующего уровня. Простейшая полная иерархия проблемы многокритериального выбора включает в себя три уровня (рис. 2): цель, критерии, альтернативы.



Рис. 2 – Иерархия проблемы

Метод анализа иерархий служит для обоснования принятия решений в условиях определенности и многокритериальности. Основным достоинством метода анализа иерархий

является высокая универсальность — метод может применяться для решения самых разнообразных задач: анализа возможных сценариев развития ситуации, распределения ресурсов, составления рейтинга клиентов, принятия кадровых решений и др. Недостатком метода анализа иерархий является необходимость получения большого объема информации от экспертов. Метод в наибольшей мере подходит для тех случаев, когда основная часть данных основана на предпочтениях лица, принимающего решения, в процессе выбора наилучшего варианта решения из множества существующих альтернатив.

2. Метод нейронных сетей — это одно из направлений исследований в области искусственного интеллекта, основанное на попытках воспроизвести нервную систему человека. Искусственные нейронные сети нашли своё применение в различных областях техники. Дальнейшее повышение производительности компьютеров все в большей мере связывают с развитием именно этих сетей, в частности, с нейрокомпьютерами, основу которых составляет искусственная нейронная сеть. У нейронных сетей много важных свойств, но ключевое из них — это способность к обучению и, как следствие, повышение своей производительности. Искусственные нейронные сети подходят для решения задач с недостаточностью или, наоборот, избыточностью данных, а также с неизвестным алгоритмом, но большим количеством конкретных примеров решения. Несмотря на широкий спектр возможностей искусственных нейронных сетей, они не способны давать точные и однозначные ответы при решении задач. Обучение сети часто приводит к тупиковой ситуации, а для больших сетей невозможно заранее оценить время обучения сети.

3. Метод генетических алгоритмов — эвристический поиск решений путем случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. Эффективность генетического алгоритма (ГА) для решения каждой конкретной задачи определяется двумя основными факторами: скоростью и устойчивостью работы. Скорость генетического алгоритма оценивается временем, необходимым для выполнения, заданного пользователем числа итераций. Если критерием остановки является качество популяции или ее сходимость, то скорость оценивается временем достижения генетическим алгоритмом одного из этих событий. Устойчивость поиска оценивается степенью устойчивости алгоритма к попаданию в точки локальных экстремумов и способностью постоянно увеличивать качество популяции от поколения к поколению. При реализации процедуры поиска ГА обрабатывает одновременно несколько точек поискового пространства, а не переходит последовательно от точки к точке, как в традиционных методах. Это позволяет преодолеть опасность попадания в локальный экстремум полимодальной целевой функции. Использование нескольких точек одновременно значительно снижает вероятность такого события. Также в процессе работы ГА не используют

никакой дополнительной информации, кроме данных об области допустимых значений параметров и целевой функции, в произвольной точке, что повышает скорость их работы. К недостаткам генетических алгоритмов относят длительность реализации и невысокую эффективность на заключительных фазах моделирования. Генетические алгоритмы не гарантируют получение оптимального решения, а на заключительных фазах моделирования многие решение отбрасываются как неперспективные.

Все рассмотренные методы позволяют находить оптимальные решения при заданных условиях. Системы в конечном итоге создавались для того, чтобы облегчить и улучшить процесс выработки управленческих решений. Применение СППР перспективно уже хотя бы потому, что любое управленческое решение субъективно, основано на политике компании, отражает основные цели организации и, что самое главное, не обязательно верно. Все это ведет к необходимости формализации процесса принятия решений и привлечения вспомогательных средств для снижения риска принятия неверного решения. Последний возрастает с накоплением информации, подлежащей обработке. Это происходит потому, что человек либо не способен обработать всю необходимую информацию для принятия решения самостоятельно, либо не способен это сделать в сроки, когда задача еще актуальна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дробышев, А.В . Методы принятия решений. - Методические указания к лабораторной работе по курсу "Системы поддержки принятия решений". - МГИЭМ. Сост.: И.Е.Сафонова, К.Ю.Мишин, С.В.Цыганов: М., МГИЭМ, 2008. - 26 с.
2. Бугаков, С. С. Перспективы внедрения нейронных сетей в реализацию систем поддержки принятия решений // Молодой ученый, Москва, 2016, № 4 (108).
3. Барский А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. // Финансы и Статистика, Москва, 2004
4. Хайкин С. Нейронные сети // Издательство «Вильямс», 2005
5. Виноградский Бронислав Книга перемен. Технология принятия решений; Профит Стайл - Москва, 2012. - 432 с.
6. Мендель А. В. Модели принятия решений; Юнити-Дана - Москва, 2010. - 464 с.
7. Трофимов В. В., Трофимова Л. А. Методы принятия управленческих решений; Юрайт - Москва, 2013. - 336 с.
8. Черняк В. З., Довдиенко И. В. Методы принятия управленческих решений; Академия - Москва, 2013. - 240 с.
9. Кривко, О.Б. Информационные технологии. М.: СОМИНТЭК. 2011. - 179 с.

10. Дорогов В. Г., Теплова Я. О. Введение в методы и алгоритмы принятия решений; Форум, Инфра-М - Москва, 2012. - 240 с

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Семенов А.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Оскольский политехнический колледж,
город Старый Оскол
e-mail: opk.semenov@yandex.ru*

Аннотация. Данная статья посвящена разработке информационной системы посредством программирования, автоматизирующей хозяйственную деятельность предприятия, а именно осуществляющей учет и мониторинг плодово-ягодных культур.

Ключевые слова: информационная система; система управления базами данных; база данных; язык программирования.

THE USE OF PROGRAMMING TOOLS IN THE ECONOMIC ACTIVITIES OF THE ORGANIZATION

Semenov 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", Oskol Polytechnical College,
town of Stary Oskol
e-mail: opk.semenov@yandex.ru*

Abstract. This article is devoted to the development of an information system through programming that automates the economic activities of an enterprise, namely, accounting and monitoring of fruit and berry crops.

Keywords: information system; database management system; database; programming language.

При рассмотрении предметной области необходимо осуществить анализ входных и выходных данных, с которыми будет взаимодействовать разрабатываемая информационная система.

Входная информация - информация, которую система воспринимает от окружающей среды.

Выходная информация - это полученная информация на основе входной информации [1]. Выходная информация включает данные данной предметной области, полученные в результате автоматизированной обработки. Эти данные предоставляются в виде отчётов.

На рисунке 1 представлена диаграмма входной и выходной информации.



Рис. 1 – Диаграмма входной и выходной информации

Инфологическая модель данных предметной области представляет собой совокупность информационных объектов и их связей [5]. Информационными объектами являются некоторые сущности в виде логически связанных реквизитов. Инфологическая модель должна содержать всю необходимую информацию, чтобы в дальнейшем проектировать базу данных. На рисунке 2 представлена инфологическая модель рассматриваемой предметной области.

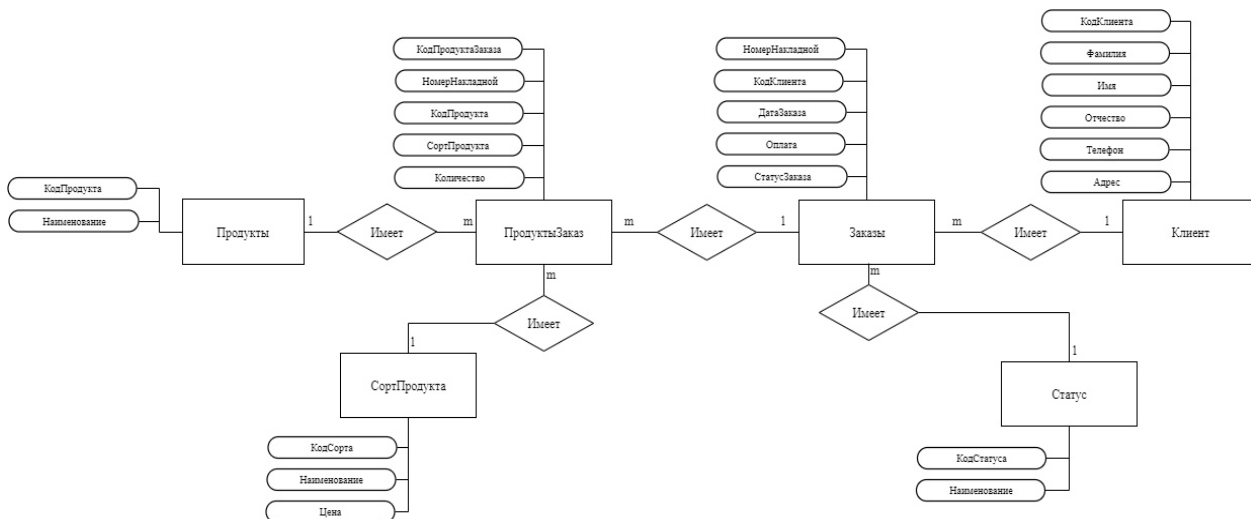


Рис. 2 – Инфологическая модель данных

Данная инфологическая модель имеет шесть информационных объектов. Каждый объект имеет определенное количество атрибутов. Атрибут представляет собой свойство информационного объекта.

Для создания информационной системы была выбрана СУБД Microsoft SQL Server 2016.

Рассмотрев основные среды разработки настольных приложений для операционной системы Windows, была выбрана среда Visual Studio и язык программирования C# [4].

Базы данных состоят из таблиц. Каждая таблица состоит из столбцов и строк. Таблица не может содержать одинаковые строки, а столбцы необходимо располагать в определенном порядке, который создается при создании таблицы.

Каждая строка таблицы должна представлять набор связанных значений, которые относятся к одной сущности. Строки помечаются уникальным идентификатором, который называется первичным ключом, а строки из нескольких таблиц могут быть связаны с помощью внешних ключей [1,5].

На рисунке 3 представлена схема данных.

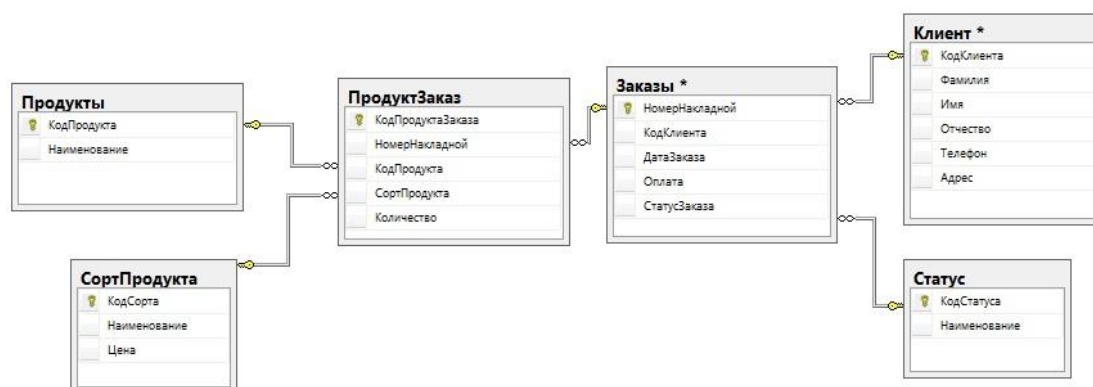


Рис. 3 – Схема данных

В разработанном приложении в целях обеспечения безопасности реализовано разграничение прав доступа. На рисунке 4 представлена форма для работы в системе администратора.

Администратор

Новый товар Новый сорт Статистика Отчет Отправлено Завершено toolStripLabel1 Администратор

№ заказа товара	Клиент	Товар	Сорт	Количество	Цена	Сумма	Дата заказа	Оплата	Статус
*								☐	

Рис. 4 – Форма администратора

Одной из базовых функций разработанного приложения является оформление нового заказа. Такая возможность реализована посредством создания представления. На рисунке 5 представлена форма добавления нового заказа.

Новый заказ

Добавить клиента:

Код клиента: Имя: Телефон: 8-()- - -

Фамилия: Отчество:

... | Фамилия: | + Добавить | Сохранить данные

Добавить заказ

Накладная: Дата заказа: 26 ноября 2019 г. Оплата: ☐

Клиент: Статус:

... | Накладная: | + Добавить | Сохранить данные

Оформить заказ

Код оформления: Сорт:

Накладная: Количество:

Товар:

... | Код оформления: | + Добавить | Сохранить данные

Рис. 5 – Форма оформления нового заказа

Для осуществления в мониторинге в системе реализована возможность представления информации в графической форме. На рисунке 6 представлена форма вывода данных в графическом виде.

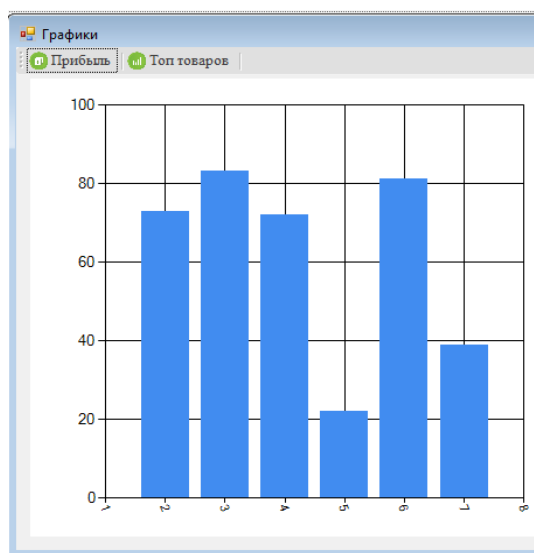


Рис. 6 – Форма мониторинга

Таким образом, в ходе работы была реализована информационная система, позволяющая автоматизировать процесс учета и мониторинга плодово-ягодных культур в организации. Внедрение такой системы позволит сэкономить время на оформление заказов, упростит хранение и обработку данных, а также позволит уменьшить количество ошибок, возникающих в ходе ручной обработке данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильков А.В., Васильков И.А. Безопасность и управление доступом в информационных системах: учебное пособие/ А.В Васильков, И.А. Васильков. - М: ФОРУМ: ИНФА-М, 2017. - 384 с.
2. Конова Е.А., Поллак Г.А. Язык C++: Учебное пособие. - 4-е изд, стер. - СПб.: Издательство «Лань», 2019 - 384 с.
3. Немцова Т.И. Программирование на языке высокого уровня программирование на языке C++: учебное пособие.
4. Сайт для программистов C#: [Электронный ресурс]. - <http://www.programmerlib.ru/csharp.php> (дата обращения: 02.12.2021)
5. Гагарина Л.Г. Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем: учебное пособие. - 324 с.:ил.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКЛАССОВЫХ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Семенов А.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Оскольский политехнический колледж,
город Старый Оскол
e-mail: opk.semenov@yandex.ru*

Аннотация. *Данной статье рассматриваются основные бесклассовые протоколы маршрутизации, их типы, а также конфигурирование протоколов маршрутизации с использованием симулятора сети передачи данных, выпускаемый фирмой Cisco Systems Cisco Packet Tracer.*

Ключевые слова: маршрутизация; протокол маршрутизации; топология; дистанционно-векторная маршрутизация; алгоритмы состояния связи; метрика; маршрут по умолчанию.

APPLICATION OF CLASSLESS ROUTING PROTOCOLS IN MODERN DATA TRANSMISSION NETWORKS

Semenov 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", Oskol Polytechnical College,
town of Stary Oskol
e-mail: opk.semenov@yandex.ru*

Abstract. *This article discusses the main classless routing protocols, their types, as well as the configuration of routing protocols using a data network simulator manufactured by Cisco Systems Cisco Packet Tracer.*

Keywords: routing; routing protocol; topology; remote vector routing; communication state algorithms; metric; default route.

Бесклассовые протоколы маршрутизации являются вторым поколением протоколов маршрутизации, основным назначением которых было снятие ограничений, накладываемых

использованием классовых протоколов маршрутизации. Примерами протоколов бесклассовой маршрутизации являются такие протоколы, как OSPF, RIPv2, EIGRP.

Использование бесклассовых протоколов маршрутизации позволяет применять технологию VLSM, при которой подсети одной классовой сети могут иметь маски различной длины.

Протоколы бесклассовой адресации при передаче данных по составной сети передачи данных производят суммирование маршрутной информации. Одним из способов выполнения данной операции является суммирование на границе классовой сети - может применяться одновременно в классовых и ряде бесклассовых протоколов маршрутизации [1,3].

Процесс суммирования маршрутов на границах классовых сетей представлен на рисунке 1.

Бесклассовые протоколы маршрутизации являются модификацией классовых протоколов. Для обеспечения их совместимости используется команда `auto-summary`.

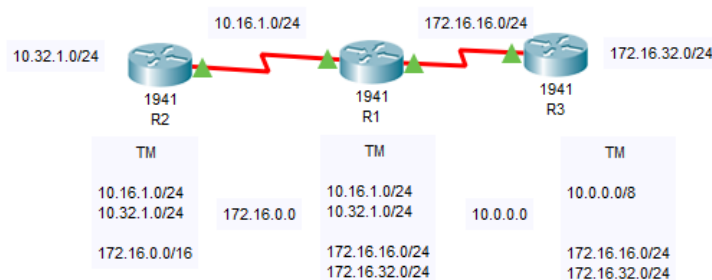


Рис. 1 – Суммирование маршрутов в классовых протоколах

Алгоритм, применяемый для расчета кратчайших маршрутов до сетей назначения, представляет собой основу любого протокола маршрутизации. По данному признаку выделяют две основные группы протоколов:

- дистанционно-векторные протоколы – каждый маршрутизатор строит минимальную таблицу маршрутизации, которую рассылает соседним маршрутизаторам, при этом получая такую же информацию от смежных маршрутизаторов. Такой подход позволяет построить полную таблицу маршрутизации, но не дает полного представления о полной топологии сети.

В качестве метрики, как правило, используется количество переходов до сети назначения. Протоколы данного типа имеют медленную сходимость, что накладывает серьезные ограничения на размер сети передачи данных [1,2]. Концепция дистанционно-векторной маршрутизации представлена на рисунке 2.

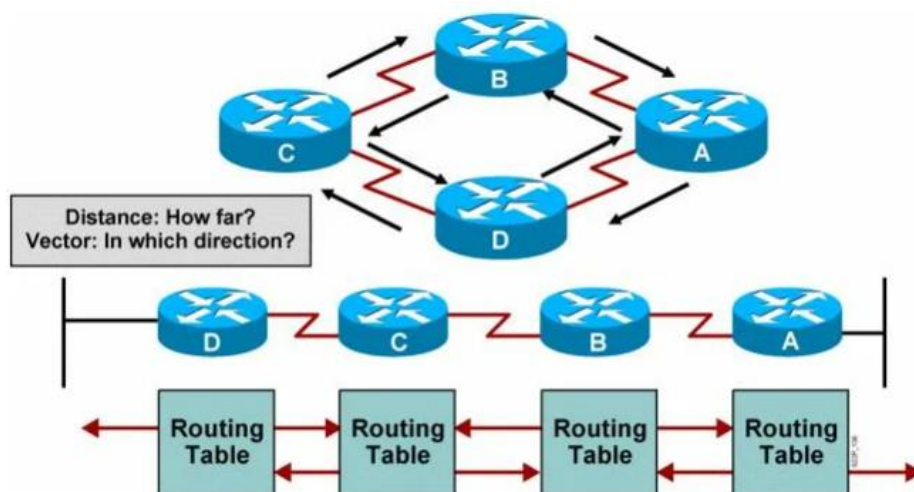


Рис. 2 – концепция дистанционно-векторной маршрутизации

- протоколы маршрутизации по состоянию канала связи. Данные протоколы используют алгоритм выбора кратчайшего пути и имеют информацию о полной топологии сети. Требуют меньше времени для сходимости сети по сравнению с протоколами маршрутизации дистанционно-векторного типа, что позволяет снять ограничения на размеры проектируемой сети передачи данных. Концепция протоколов маршрутизации по состоянию канала связи представлена на рисунке 3.

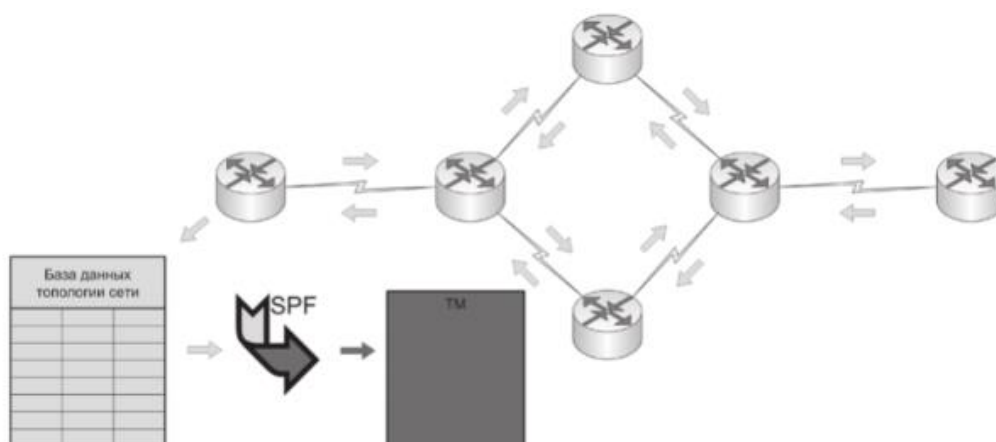


Рис. 3 – Концепция протоколов маршрутизации по состоянию канала связи

При этом все протоколы маршрутизации имеют общие принципы настройки.

Для запуска протокола маршрутизации используется команда `router protocol {process-id | autonomous-system}`, где `protocol` – один из возможных протоколов маршрутизации (RIP, OSPF и т.д); `process-id` – идентификатор процесса маршрутизации; `autonomous-system` – номер автономной системы.

Для описания сетей, которые участвуют в процессе маршрутизации используется команда `network ip-address [wildcard-mask]`, где `wildcard-mask` представляет собой обратную

маску сети [1]. При этом существуют различия в назначении сетей в процессе маршрутизации, которые представлены на рисунке 4.

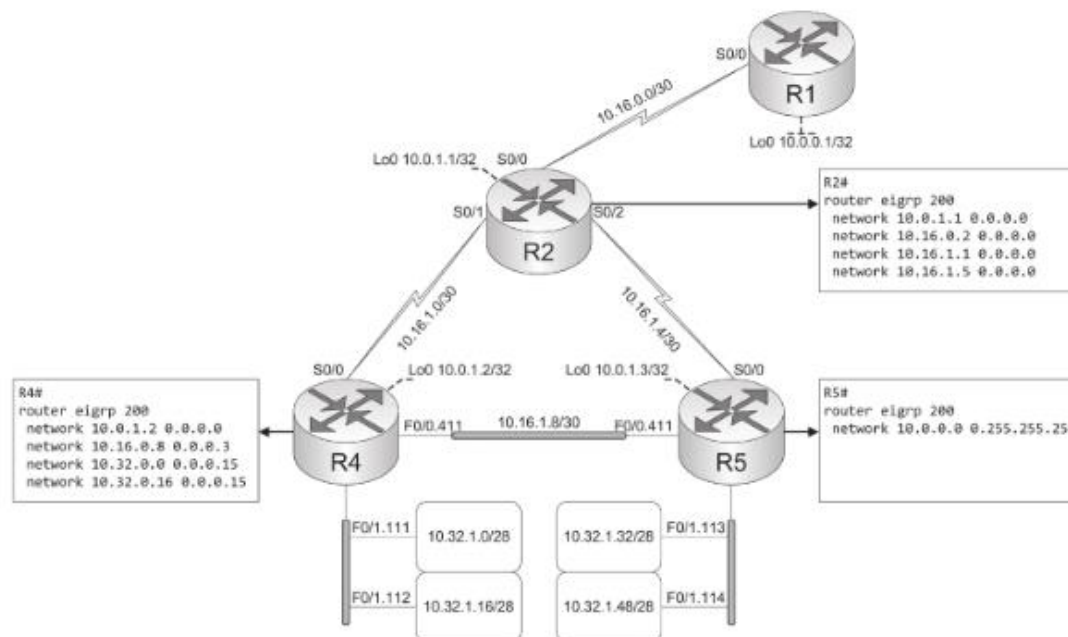


Рис. 4 – Различие в назначении сетей в процессе маршрутизации

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дибров, М. В. Компьютерные сети и телекоммуникации. Маршрутизация в IP-сетях в 2 ч. Часть 1 : учебник и практикум для среднего профессионального образования / М. В. Дибров. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 333 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-04638-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/437357> (дата обращения: 02.12.2021).
2. Кузьменко, Н.Г. Компьютерные сети и сетевые технологии / Н.Г. Кузьменко. — СПб.: Наука и техника, 2013.
3. Куроуз, Д Компьютерные сети: Нисходящий подход / Д.Ф. Куроуз, К.В. Росс. — 6-е изд. — М.: Эксмо, 2016.

АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТОРГОВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Семенов А.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Оскольский политехнический колледж,
город Старый Оскол
e-mail: opk.semenov@yandex.ru*

Аннотация. Данная статья посвящена рассмотрению использования современных средств программирования для создания системы по автоматизации деятельности интернет-магазина, реализующего комплектующие для компьютерной техники. Программный комплекс представляет собой сайт магазин для клиентов и настольное приложение для сотрудников.

Ключевые слова: программное обеспечение; система управления базами данных; операционная система; язык программирования.

AUTOMATION OF BUSINESS PROCESSES OF A TRADE ORGANIZATION USING MODERN PROGRAMMING TOOLS

Semenov 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", Oskol Polytechnical College,
town of Stary Oskol
e-mail: opk.semenov@yandex.ru*

Abstract. This article is devoted to the consideration of the use of modern programming tools to create a system for automating the activities of an online store that implements components for computer technology. The software package is a store site for customers and a desktop application for employees.

Keywords: software; database management system; operating system; programming language.

В условия современного процесса рынокообразования необходимо проводить активную деятельность по привлечению клиентов. Одним из таких способов является продвижение реализуемых товаров посредством сети Интернет.

Для успешного продвижения Интернет-ресурсов разрабатываемый продукт должен удовлетворять следующим требованиям:

- иметь дружелюбный, интуитивно понятный интерфейс;
- обеспечивать безопасность передаваемых данных, в том числе за счет разграничения прав доступа;
- выполнение основных операций над данными (добавление, изменение, удаление);
- возможность использования фильтрации для поиска по различным критериям.

На сегодняшний день на рынке существует большое разнообразие операционных систем. Проведя их сравнительный анализ и, исходя из требований, предъявляемых к разрабатываемому продукту, была выбрана ОС Windows 10.

Основным компонентом любой информационной системы является база данных, которая представляет собой упорядоченный набор структурированной информации или данных, хранящихся в электронном виде в компьютерной системе. Для их разработки используются системы управления базами данных, которые также разнообразны на рынке ПО.

Исходя из соображений предоставляемых функций, для разработки приложения будет использоваться MySQL - свободно распространяемая СУБД, которая успешно работает с различными сайтами и веб-приложениями [1].

Для разработки клиентского приложения, которое должно работать под управлением ОС Windows, будет использоваться система Windows Presentation Foundation (WPF).

Для верстки и оформления интерфейса веб-сайта были выбраны: HTML, CSS, JavaScript. Для написания же серверной части сайта выбор был сделан в пользу языка программирования PHP [2].

Перед началом реализации приложения была разработана физическая модель данных, определяющая способы размещения данных в среде хранения и способы доступа к этим данным, поддерживаемых на физическом уровне, схема которой представлена на рисунке 1.

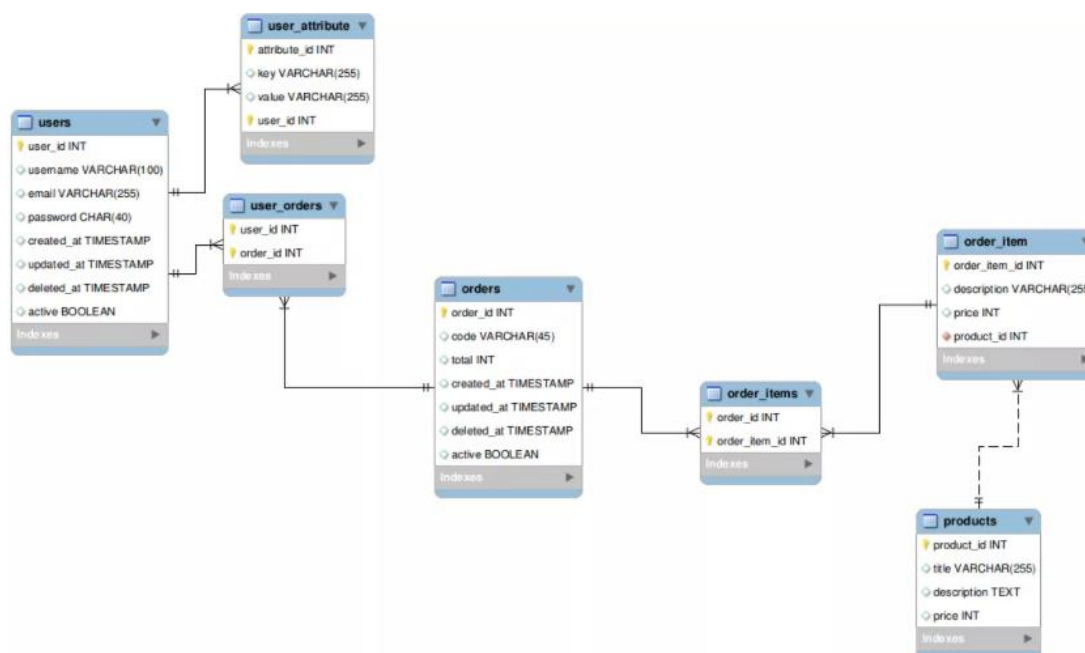


Рис. 1 – Физическая модель данных

В приложение реализовано разграничение прав доступа по категориям. На рисунке 2 представлен интерфейс приложения под управлением администратора.

Основным элементом хранения данных являются справочники. На рисунке 3 представлено окно редактирования справочников.

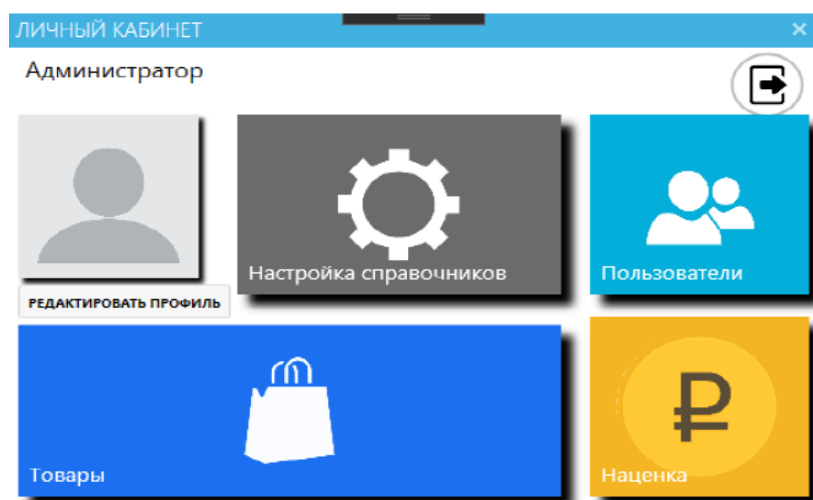


Рис. 2 – Меню администратора приложения

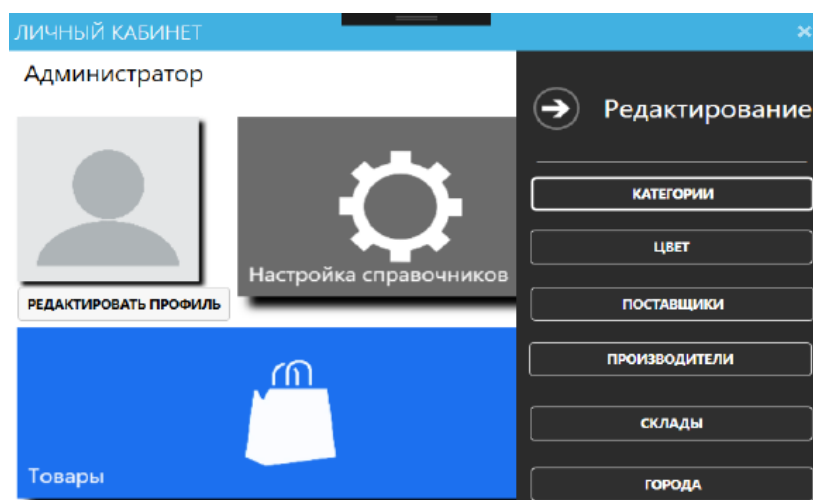


Рис. 3 – Окно редактирования справочников

Второй группой пользователей разрабатываемого приложения являются сотрудники в должности менеджера. На рисунке 4 представлено меню менеджера.

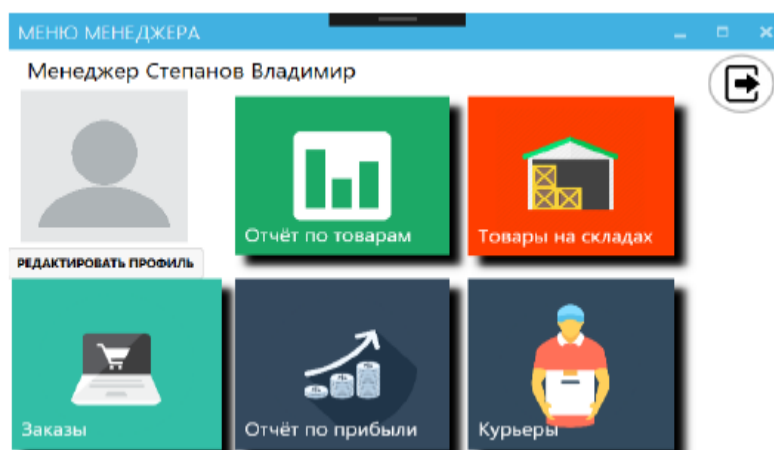


Рис. 4 – Меню менеджера

Главная страница разработанного сайта представлена на рисунке 5.

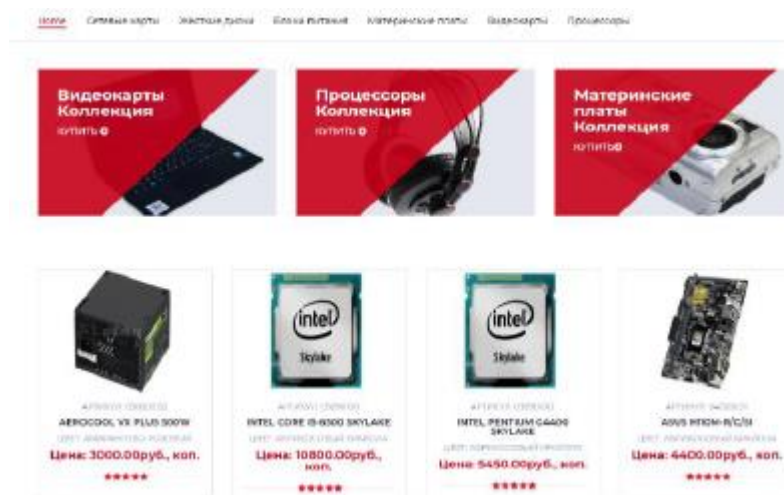


Рис. 5 – Главная страница сайта

Таким образом, разработанный программный продукт позволит автоматизировать бизнес-процесс реализации продукции посредством использования Интернет-ресурса, что будет способствовать распространению информации о существующем магазине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольцман В.И. Базы данных. Общие вопросы/ Гольцман В.И. - 1-е издание, 2015 – 424 с.
2. Хилайер С., Мизик Д. Программирование Active Server Pages / Пер. с англ. – 3-е изд., доп. – М.: Издательско-торговый дом «Русская Редакция», 2017 – 320 с.
3. Васильков А.В., Васильков И.А. Безопасность и управление доступом в информационных системах: учебное пособие / А.В. Васильков, И.А. Васильков. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2017. – 368 с.

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА К РЕШЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАДАЧ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА

Сергеев А.В.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Оскольский политехнический колледж, город Старый Оскол

Аннотация. В статье рассматриваются особенности экономических задач, в решении которых применяются математические методы.

Ключевые слова: математические методы; оптимальность; многомерность; целочисленность; неотрицательность; целевая функция; ограничения.

ON THE QUESTION OF THE APPLICATION OF MATHEMATICAL APPARATUS TO THE SOLUTION OF PRODUCTION PROBLEMS OF AN ECONOMIC NATURE

Sergeev 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", Oskol Polytechnical College, town of Stary Oskol

Abstract. The article discusses the features of economic problems in solving which mathematical methods are used.

Keywords: mathematical methods; optimality; multidimensionality; integer; non-negativity; target function; limitations.

Языком математики сегодня говорит любая наука, в том числе и экономика. Таковую ситуацию предсказывал еще великий французский ученый Рене Декарт: «Все исследования, направленные на изучение порядка и меры, принадлежат математике». Математические методы в настоящее время являются достаточно мощным инструментом, применяемым к решению экономических задач. Однако удельный вес математических методов во всей системе исследования экономических проблем сегодня не так велик, как кажется на первый взгляд. Только около 50% экономических задач могут быть решены с использованием сколько-нибудь значимого математического аппарата. В основном это задачи планирования и

оптимизации. Такая ситуация во многом обусловлена особенностями самой экономической сферы.

В современной экономике взаимоотношения между субъектами образуют сложноструктурные экономические системы с большим количеством элементов и связей между ними, что и объясняет большинство особенностей экономических задач. Если считать, что основу экономической системы составляет производство, то ее можно рассматривать как совокупность управляемой (производство) и управляющей систем [1, с.21]. Кроме производственных в состав экономических систем входят сфера обращения и непроизводственная сфера, которые также имеют свою специфику, заключающуюся в том, что участие в процессах взаимодействия множества покупателей и множества продавцов предполагает необходимость учета таких факторов, как конкуренция, законы спроса и предложения, а также то, что большинство условий здесь имеет вероятностный характер.

Решаемые на предприятиях экономические задачи могут касаться различных направлений их экономической деятельности: снижения трудоемкости, сокращения стоимости работ, уменьшения сроков технической подготовки производства, повышения уровня организации и качества технической подготовки производства, рациональной организации производственного процесса и др.

Все это свидетельствует о том, что экономические задачи – это задачи с большим количеством переменных, имеющих различные динамические связи и взаимоотношения.

Таким образом, первая отличительная особенность экономических задач состоит в том, что они многомерны и даже представленные в форме систем неравенств и уравнений не могут быть решены аналитическими методами математики.

Другой характерной чертой большинства экономических задач является множественность возможных решений: определенную продукцию можно изготовить различными способами, используя разные варианты выбора сырья, оборудования, технологии и организации производственного процесса.

При этом в результате требуется выбрать минимальное количество наилучших (оптимальных) вариантов из множества возможных решений, которые соответствуют наиболее эффективной работе системы, позволяют оценить количественно эффективность принимаемых решений, прогнозировать их негативные последствия, использовать полученные оценки.

Все эти условия говорят об экстремальности экономических задач, что предполагает наличие целевой функции. Такие задачи решаются на основании требований производства: по временным характеристикам (временная целевая функция), по решению комплекса взаимосвязанных организационно-технических задач (технологическая целевая функция) или

по условию рационального распределения и использования затрат (стоимостная целевая функция).

Определяя критерии оптимальности, необходимо учитывать, что часто приходится принимать во внимание одновременно несколько показателей эффективности (например, максимум рентабельности и прибыли, товарной продукции, конечной продукции, загрузки оборудования, производительности труда и т.д., минимум издержек производства, себестоимости, времени производства и др.). В таких случаях требуется составлять несколько целевых функций и искать между ними определенный компромисс.

Близко к многоцелевым задачам лежат задачи с дробно-линейной функцией, когда целевая функция выражается относительными показателями эффективности производства (рентабельность, себестоимость продукции, производительность труда и т.д.) [1, с.139].

В экономических задачах входными величинами производственных систем служат ресурсы различных видов: материальные (природные, средства производства), трудовые (персонал), финансовые (капиталовложения), информационные (сведения о ценах, технологии и др.), которые и определяют еще одну особенность таких задач – наличие ограничений на ресурсы, что предполагает описание экономической задачи в виде системы неравенств.

Стохастический (вероятностный) характер технико-экономических коэффициентов, коэффициентов целевой функции обусловлен случайным характером факторов, влияющих на экономическую систему, что тоже является своеобразной особенностью экономических задач.

Нередко встречаются условия, когда между различными параметрами целевой функции устанавливаются зависимости нелинейного характера, например, зависимости между затратами ресурсов и выходом конечного продукта. Основная часть таких задач возникает при моделировании рыночного поведения, когда учитываются факторы эластичности спроса и предложения, а точнее нелинейный характер изменений этих величин от уровня цен и уровня доходов населения.

При моделировании рыночного поведения кроме нелинейности зависимостей встречается такая особенность, как требование учитывать поведение конкурентов. Даже советские экономисты признавали, что действие объективных экономических законов осуществляется через деятельность множества хозяйственных подразделений. В то же время осуществление решения, принятого в одном из этих подразделений, может оказать значительное влияние на те или иные характеристики экономической ситуации, в которой принимают решения остальные подразделения (например, при перевозке грузов меняются количество и виды грузов, цены на перевозки и др.). Таким образом, возникает комплекс оптимизационных задач, в каждой из которых какие-то переменные величины зависят от выбранных управлений в других задачах [2, с.124].

Важной общей особенностью экономических задач является дискретность объектов планирования или целевой функции, определяющая их целые значения. Целочисленность следует из самой природы объектов экономической науки, т.к. количество заводов, количество станков и инструментов, число работников и т.д. не может быть дробным. При этом дискретный характер имеют не только объекты планирования, но и плановые промежутки времени: при планировании какой-либо операции всегда определяется, на какой срок она планируется, в какие сроки может быть осуществлена и когда будут результаты. Это обуславливает введение еще одной дискретной переменной – временной.

Целочисленность большинства экономических показателей не отделима от неотрицательности их значений (количество предметов или длина отрезков времени не могут быть меньше нуля).

Таким образом, особенности применяемого к решению экономических задач метаматематического аппарата определяются особенностями самих экономических систем, для которых оказались недостаточными те математические методы, которые возникли из потребностей других наук.

Надо сказать, что с развитием экономических систем изменяются и совершенствуются и применяемые к их исследованию математические методы, а возможности современной компьютерной техники позволяют существенно расширить перечень используемых методов, которые ранее были описаны только теоретически или применялись к узкому кругу задач.

В настоящее время экономические задачи составляют один из важнейших классов прикладных задач, решаемых с помощью компьютеров, что значительно упрощает работу по подготовке и обработке данных, снижая трудоемкость и уменьшая число ошибок при обработке данных. Снижение количества расчетных ошибок в экономике имеет особое значение, поскольку ошибки в решении экономических задач могут дорого стоить. Неправильные экономические расчеты могут нанести существенный материальный ущерб или даже привести к полной финансовой несостоятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гатаулин А.М. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1990. – 432с.
2. Канторович Л.В. Оптимальные решения в экономике. – М.: Наука, 1972. – 232с.

РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ДОПУСТИМЫХ РЕЖИМОВ ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК ОБЪЕКТОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Дриаев А.З., Вьючный П.А., Кайсинов А.Г., Сидоров Д.В.

*ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий»,
362021, Россия, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44
raen3@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматривается расширение области допустимых режимов генераторных установок объектов распределенной генерации.

Ключевые слова: генераторные установки; переходные процессы; распределенная генерация; самозапуск; энергорайон.

EXPANDING THE AREA OF PERMISSIBLE MODES OF GENERATING INSTALLATIONS OF DISTRIBUTED GENERATION OBJECTS

Driaev A.Z., Vyuchniy P.A., Kaysinov A.G. Sidorov D.V.

*The North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University),
department of industrial power supply, Russia, Vladikavkaz
raen3@yandex.ru*

Abstract. The article analyzes the expansion of the range of permissible modes of generator sets of objects of distributed generation.

Keywords: generator plants; transition processes; distributed generation; self-launch; energy district.

Широкое применение на объектах распределенной генерации (РГ) в России получили зарубежные генераторные установки (ГУ), которые для защиты от резких изменений параметров режима оснащаются устройствами релейной защиты (РЗ) с заданными параметрами настройки, что вызывают их частые отключения при внешних возмущениях, не представляющих опасность для ГУ [1]. Неселективные отключения ГУ объектов РГ при кратковременных отклонениях напряжения (частоты) часто приводят к нарушениям электроснабжения промышленных производств и набросам нагрузки на электросетевое

оборудование (ЛЭП, силовые трансформаторы) прилегающей сети, вызывая его перегрузки [2].

Важно отметить, что уставки устройств РЗ ГУ по снижению напряжения без контроля токов абсолютно не обоснованы, так как опасность термического повреждения обмоток ГУ наступает только в тех случаях, когда кратность и/или длительность аварийных перегрузок по току статора или ротора превышают допустимые значения [2]. Величины токов определяются заводами-изготовителями, с учетом конструктивных особенностей ГУ, и в первую очередь – класса нагревостойкости (температурный индекс) изоляции обмоток, с привязкой к соответствующим значениям температуры, а также системы охлаждения и охлаждающей среды обмоток статора и ротора. В случае превышения тока статора по величине и длительности устройства РЗ действуют на отключение ГУ от сети, а тока ротора – на снижение тока возбуждения (расфорсировка) до величины, исключающей опасный перегрев обмотки ротора [3].

Рассмотрим пример газопоршневой установки (ГПУ) с агрегатами с утилизацией тепла мощностью 2430 кВт, находящейся в эксплуатации. В Паспорте ГУ приведены уставки устройств РЗА, действующие на отключение ГУ, если в течение 200 мс во всех трех фазах:

- напряжения выше 110 % или ниже 90 % от номинального;
- частота выше 51,5 Гц или ниже 49 Гц.

Длительность провала напряжения, заданная в размере 200 мс, отвечает требованиям европейский стандартов, где допустимая длительность КЗ составляет не более 150 мс. Характер протекания переходного процесса в значительной мере зависит от состава нагрузки и результирующей устойчивости электродвигателей переменного тока в энергорайоне. Поэтому, фактическая длительность провала напряжения, особенно при трехфазных КЗ, может быть больше, так как напряжение после ликвидации КЗ восстанавливается не сразу.

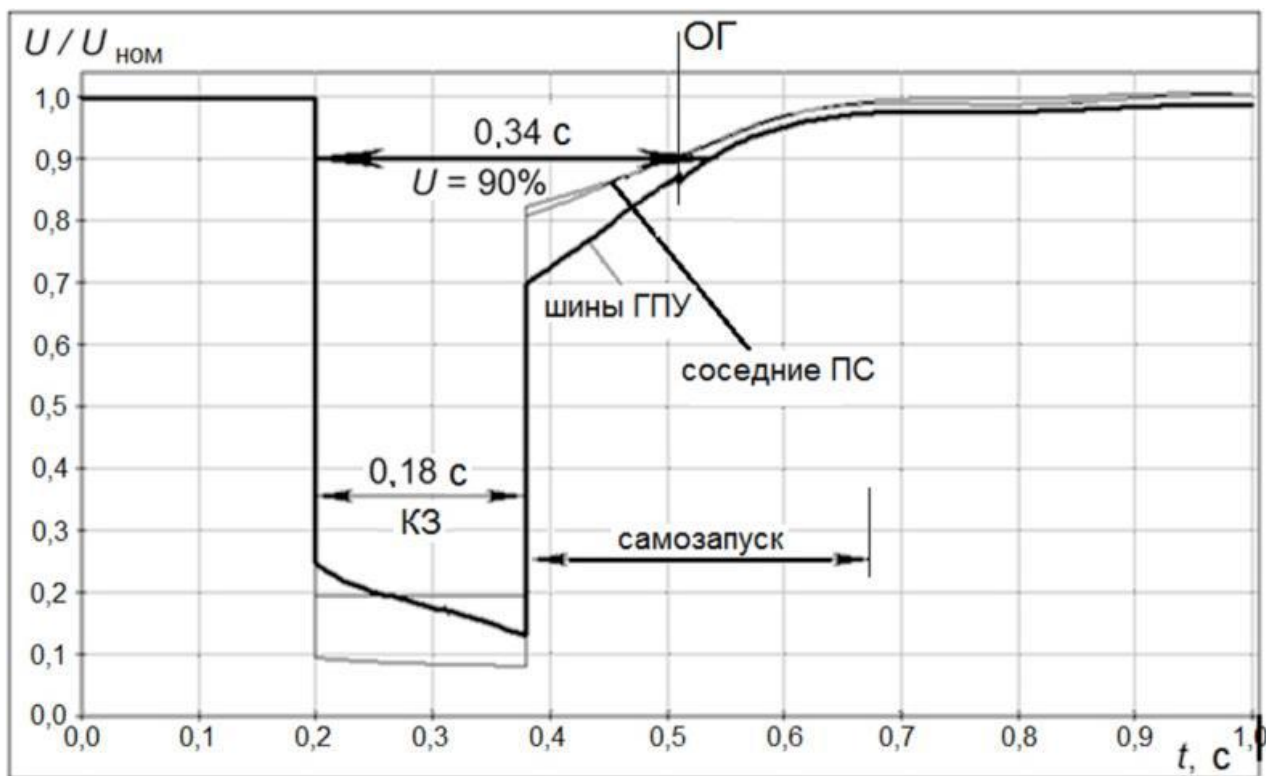


Рис. 1 – Переходный процесс с увеличением длительности провала напряжения, вызванного КЗ, из-за самозапусков АД в ближайших узлах нагрузки

Затормозившиеся в процессе КЗ электродвигатели потребляют повышенные токи, пока не восстановятся нормальные скорости их вращения. Пример увеличения длительности провала напряжения, вызванного КЗ, из-за самозапусков электродвигателей в ближайших узлах нагрузки при сохранении связи с сетью показан на рисунке 1: глубокое снижение напряжения во время КЗ – 0,18 с; самозапуск АД длится около 2,5 с. Напряжение восстановилось до 90% от $U_{\text{ном}}$ через 0,34 с после начала КЗ, что приведет к отключению ГПУ.

Расчеты показывают, что длительность самозапуска электродвигателей в ближайших узлах нагрузки после ликвидации трехфазного КЗ приблизительно равна $t_{\text{кз}}$, если оно короче 0,5–1 с, при большей длительности КЗ самозапуски либо затяжные, либо вообще невозможны [4].

Возмущения в виде больших скачкообразных набросов/сбросов нагрузки, происходящие без КЗ, также могут вызывать отключения ГПУ, что возможно при включении/отключении мощной нагрузки в островном (автономном) режиме, а также при внезапном отделении энергорайона от энергосистемы. Общая картина ограничений набросов электрической мощности на генератор показана ниже для исходного режима $P_0 = 60\%$ от номинальной мощности. Ограничение величины скачкообразного наброса мощности ΔP_0 , обусловленное конструкцией ГПУ, принято в размере $10\% P_{\text{ном}}$. Поэтому мощность,

максимально допустимая после наброса, составляет в данном случае не более 70%; минимально допустимая мощность $P_{\min}$ принята в размере 30%.

Величины изменений мощности $\pm\Delta P$ в расчетах варьировались, и те значения ΔP , которым соответствует срабатывание какой-либо защиты ГПУ, рассматривались как недопустимые. На рисунке 2 ограничение **A** соответствует условию $P_0 + \Delta P_0 \leq P_{\max}$, **B** – условию $P_0 + \Delta P_0 \geq P_{\min}$, где $\Delta P_0 < 0$ – сброс нагрузки. Ограничения **1–3** соответствуют срабатываниям устройств РЗ ГПУ: **1** – по $U_{\min}$ (при $U < 90\%$), срабатывание защиты по $U_{\max}$ не показано, **2** – по $f_{\min}$ (при $f < 49$ Гц), **3** – по $f_{\max}$ (при $f > 51,5$ Гц). Сохранению ГПУ в работе соответствует область режимов, находящихся между вертикальными линиями **2** и **3**.

На рисунке 2 видно, что уставки устройств РЗ ГПУ, обозначенные линиями **2** и **3**, избыточны по сравнению фактически имеющими место конструктивными ограничениями **A** и **B**. Важно отметить, что избыточность ограничений при сбросах мощности меньше, чем при набросах: интервал в значениях ΔP_0 между ограничениями **3** и **B** (в зоне сбросов мощности, когда $\Delta P_0 < 0$) больше, чем между ограничениями **2** и **A** (когда $\Delta P_0 > 0$) [5].

При внезапном отделении энергорайона от энергосистемы, в случае неправильной идентификации режима работы ГПУ (отказ автоматики переключения алгоритмов АРЧВ), ограничения допустимых режимов работы ГПУ будут соответствовать области с белым фоном, между вертикальными линиями **4**.

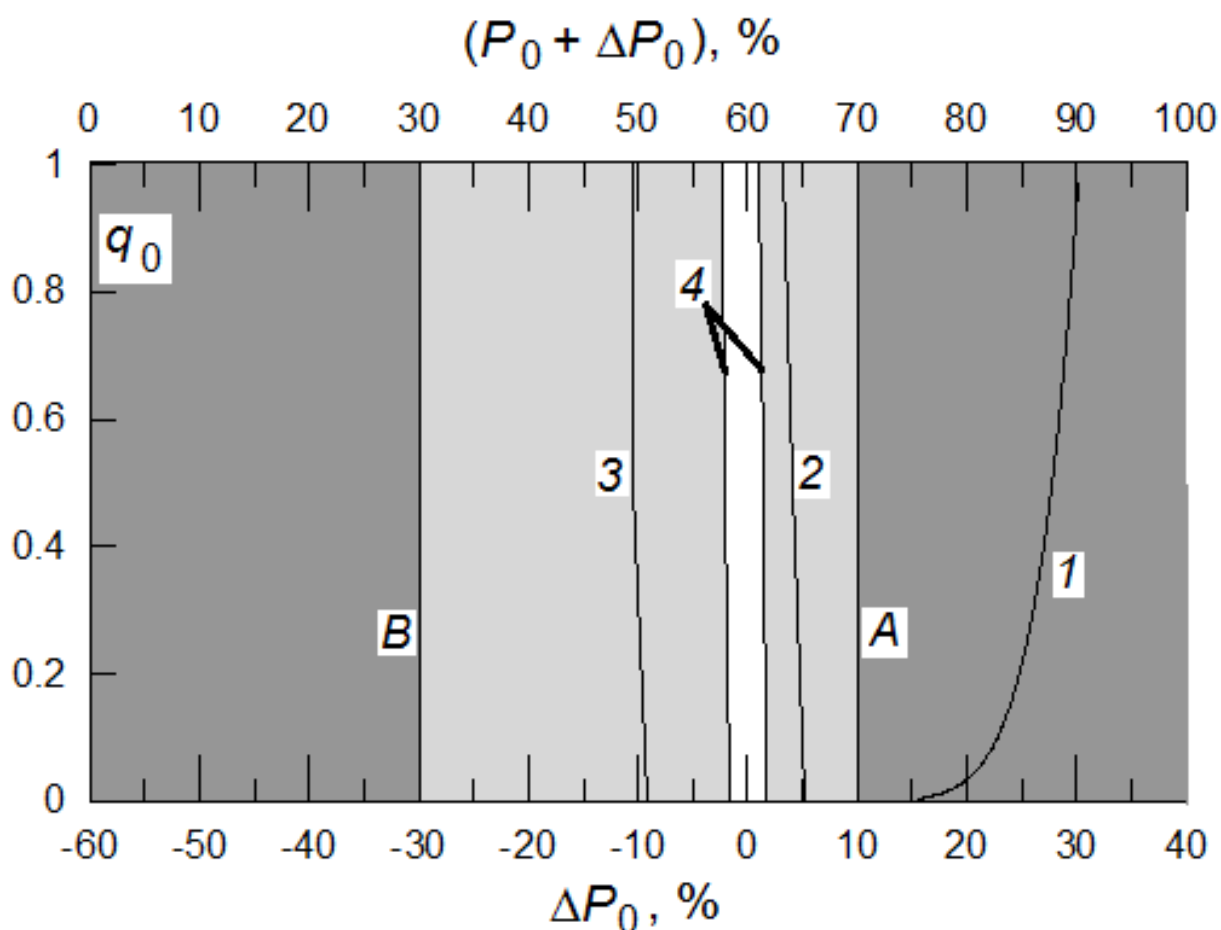


Рис. 2 – График допустимых набросов/сбросов мощности ГПУ.

По оси ординат q_0 – отношение $Q_{г\text{у}}/Q_{\text{сети}}$ в исходном режиме

С учетом рассмотренных особенностей функционирования зарубежных ГУ объектов РГ в сетях внутреннего электроснабжения энергорайонов и в целях повышения надежности электроснабжения потребителей в различных схемно-режимных условиях требуется разработка нового способа расширения области допустимых режимов ГУ. Для получения указанного результата следует рассмотреть возможность и эффективность применения накопителей электрической энергии для предотвращения излишних отключений ГУ при значительных отклонениях параметров режима (частота; напряжение), в том числе при ликвидации внешних КЗ устройствами РЗ (основными; резервными; дальнего резервирования), значительных набросах/сбросах нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Eroshenko, S.A. Distributed generation siting and sizing with implementation feasibility analysis / S.A. Eroshenko, A.I. Khalyasmaa, S.A. Dmitriev, A.V. Pazderin and A.A. Karpenko // 2013 International Conf. on Power, Energy and Control (ICPEC), Dindigul, – 2013. – pp. 717-721.

2. Гемке, Р.Г. Неисправности электрических машин. – 9 изд. перераб. И доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1989. – 336 с.
3. Федосеев А.М. Федосеев М.А. Релейная защита электроэнергетических систем. Учебник для вузов. – 2 изд., перераб. и доп. / А.М. Федосеев, М.А. Федосеев. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 528 с.
4. Илюшин, П.В. Комплексный подход к моделированию устройств РЗ и ПА, расчету уставок и анализу правильности их работы / П.В. Илюшин, Я.М. Королев, А.В. Симонов // Релейная защита и автоматизация. – 2017. – № 3 (28). – С. 13-19.
5. Куликов, А.Л. Применение сеточных функций для задания уставочных областей цифровой релейной защиты / А.Л. Куликов, М.В. Шарыгин, П.В. Илюшин // Электрические станции. – 2019. – № 5. – С. 50-57.

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОРАЙОНА ПРИ ПРОВАЛАХ НАПРЯЖЕНИЯ

Дриаев А.З., Хубаев Г.Л., Сепиев Х.Б., Д.В. Сидоров

*ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий»,
362021, Россия, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44
raen3@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются особенности режимного выделения при провалах напряжения с угрозой развития лавины напряжения.

Ключевые слова: провалы напряжения; переходные процессы; распределенная генерация; самозапуск; энергорайон.

FEATURES OF MODE SELECTION ENERGY-DISTRICT WITH VOLTAGE DIPS

Driaev A.Z., Hubaev G.L., Sepiev H.B., Sidorov D.V.

*The North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University),
department of industrial power supply, Russia, Vladikavkaz
raen3@yandex.ru*

Abstract. The article analyzes the features of regime release in case of voltage dips with the threat of voltage avalanche development.

Keywords: voltage dips; transition processes; distributed generation; self-launch; energy district.

При близком и, особенно, трехфазном коротком замыкании (КЗ), отключаемом с выдержкой времени, провалы напряжения на шинах электроприемников энергорайона будут настолько значительными, что становится возможным быстрое развитие лавины напряжения с отключением всех или практически всех электроприемников. Отключения могут быть как самопроизвольными, так и обусловленными действием устройств релейной защиты (РЗ) и технологической автоматики (ТА).

В больших энергорайонах глубокий провал напряжения в сети внешнего электроснабжения может приводить к возникновению нескольких областей, в которых будут

либо развиваться лавина напряжения, либо происходить самопроизвольные отключения электроприемников. Последствия для потребителей при этом близки, но второй случай менее катастрофичен, так как предотвращать самопроизвольные отключения электроприемников проще, чем предотвращать возникновение или развитие лавины напряжения. В обоих случаях характер протекания переходного процесса может быть резко утяжелен, если генераторные установки (ГУ) будут отключены устройствами РЗ.

Особенность лавины напряжения заключается в том, что она развивается быстро (соответственно малым постоянным времени большинства АД) – за время не более нескольких десятых долей секунды. Это легко доказать в общем виде. Если начальный провал напряжения значителен, то вращающие моменты АД и СД, пропорциональные U^2 , падают почти до нуля и их скорости вращения снижаются с постоянными времени $T_J / k_{\text{загр}}$ (где $k_{\text{загр}}$ – коэффициенты загрузки в доаварийном режиме). Известно, что самозапуски больших групп двигателей не осуществимы, если скольжения достигают величин, примерно вдвое превышающих критические скольжения $s_{\text{кр}}$. Это состояние достигается через время Δt от начала повала напряжения; $\Delta t \approx 2 s_{\text{кр}} \cdot T_J / k_{\text{загр}}$. В обычных случаях $s_{\text{кр}} < 0,1$, $k_{\text{загр}} \approx 0,6\text{--}0,8$, T_J – около 1 с, поэтому обычно Δt – не более 0,2–0,3 с.

В качестве обобщающего параметра удобно использовать критическое время перерыва электроснабжения $T_{\text{кр}}$ для разных групп электроприемников, цехов, энергообъектов и энергорайона в целом. «Значения $T_{\text{кр}}$ могут лежать в широком диапазоне значений. Они могут быть и меньше 0,15–0,2 с, когда решающим фактором оказывается опрокидывание электродвигателей (лавина напряжения) или самоотключения их магнитных пускателей, и минуты, когда основными становятся технологические факторы (например, образование «козла» в доменной печи из-за перерыва электроснабжения)» [1]. Соответственно, противоаварийные меры в сетях внутреннего электроснабжения должны быть различными, что в полной мере относится и к быстрдействию многопараметрической делительной автоматики (МДА).

Очевидно, что МДА, как элемент системы противоаварийного управления (ПАУ), в пределах технических возможностей, должна содействовать предотвращению возможности возникновения в энергорайоне лавины напряжения, что требует от нее высокого быстрдействия [2].

С целью ускорения срабатывания пусковых органов МДА при провалах напряжения в случаях близких КЗ в сети внешнего электроснабжения, не допуская при этом срабатываний при КЗ в рассматриваемом энергорайоне, ниже проводятся результаты анализа возможности пуска МДА по факту резкого увеличения суммарного потока реактивной мощности от энергорайона в направлении сети внешнего электроснабжения [3], как показано на рисунке 1.

Доаварийный суммарный переток реактивной мощности по связям с сетью внешнего электроснабжения может быть любым по величине и знаку, однако увеличенный переток к месту КЗ будет сохраняться в течение времени существования КЗ. Этого достаточно для срабатывания пусковых органов МДА по факту резкого увеличения суммарного перетока реактивной мощности.

В большинстве случаев энергорайоны с объектами распределенной генерации (РГ) потребляют активную и реактивную мощность, так как суммарная мощность генераторных установок (ГУ) не покрывает в полном объеме электропотребление всех электроприемников даже в режимах минимальных нагрузок.

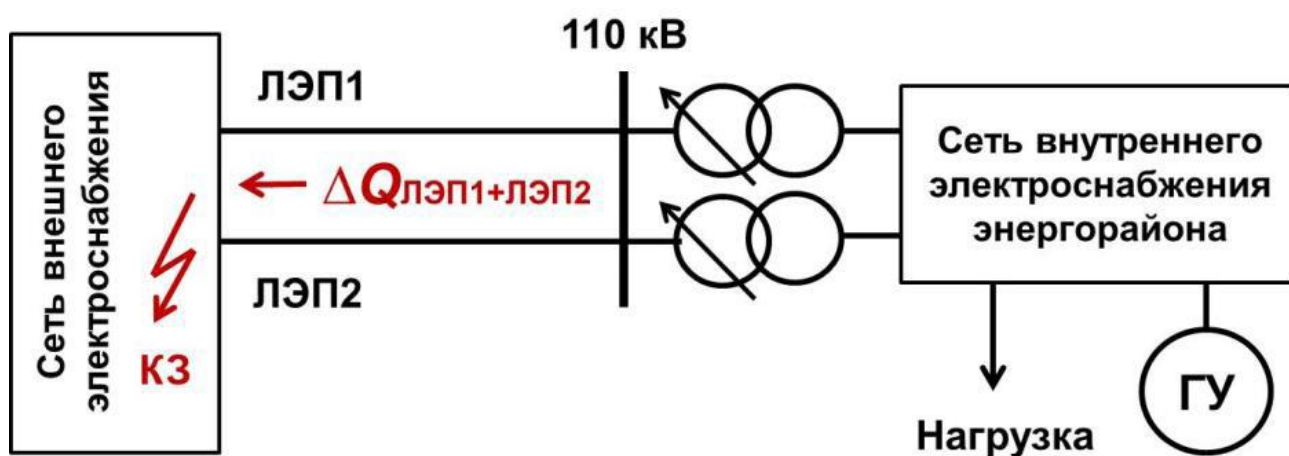


Рис. 1 – Упрощенная схема участка сети при внешнем КЗ

Следовательно, пуск МДА может в этом случае осуществляться не только по факту резкого увеличения суммарного перетока реактивной мощности из энергорайона в сеть внешнего электроснабжения в момент КЗ, но и по факту изменения его направления, что должно уточняться расчетами при проектировании МДА [4]. Предлагаемый алгоритм распознавания внешнего КЗ будет правильно работать в случаях односторонней связи рассматриваемого энергорайона с сетью внешнего электроснабжения (рисунок 1).

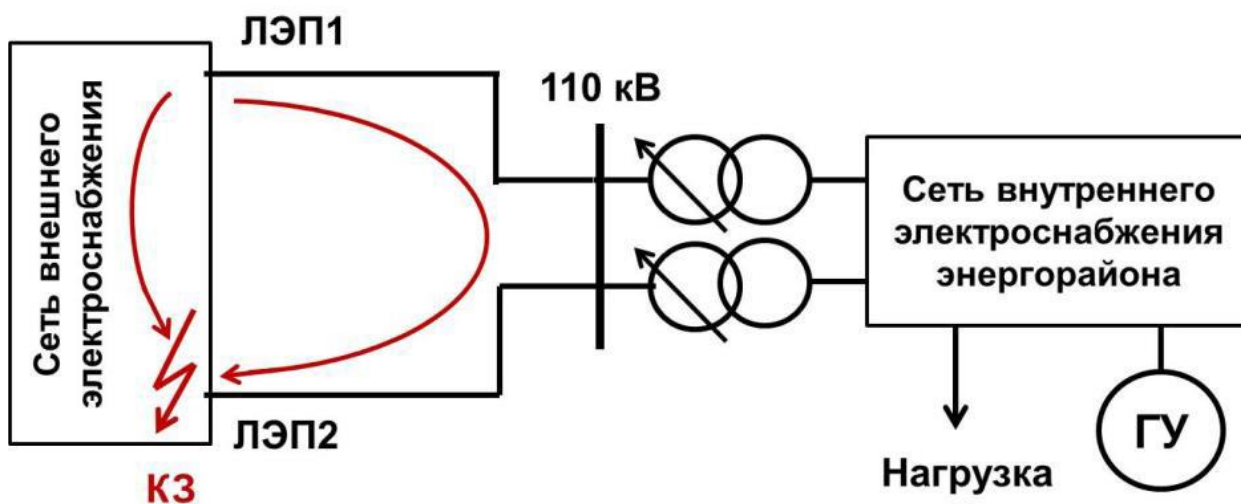


Рис. 2 – Упрощенная схема участка сети с двухсторонней связью при внешнем КЗ

При наличии двухсторонней или многосторонних связей из удаленных частей энергосистемы, как это показано на рисунке 2, переток реактивной мощности ΔQ явно возрастет по той линии(-ям) электропередачи, которая(-ые) имеет(-ют) связь с местом КЗ, но на другой(-их) линии(-ях) электропередачи изменения ΔQ могут быть различными, т.е. будет иметь место неопределенность величины и направления суммарного перетока реактивной мощности.

В такой схемно-режимной ситуации вероятность успешной работы МДА с пусковым органом, действующим по факту резкого увеличения суммарного перетока реактивной мощности, уменьшается, но и необходимость выделения энергорайона с многосторонними внешними связями то же меньше. Следовательно, выбор алгоритма работы пусковых органов МДА необходимо проводить на основании результатов многочисленных расчетов режимов в различных схемно-режимных ситуациях при проектировании МДА [5].

При этом следует учитывать, что баланс активной и реактивной мощностей может быть далек от нормального и что возможны значительные отклонения частоты и напряжения в энергорайоне [6]. Очевидно, что чем больше запас располагаемой мощности ГУ, т.е. чем больший объем наименее ответственной нагрузки в энергорайоне отключен, тем проще нормализовать параметры режима и работу ГУ, но с одним существенным ограничением. Ограничения параметров режима ГУ в общем случае – это не только $P_n \leq P_{\max}$, но и $P_n \geq P_{\min}$, последнее – по условию технологического минимума нагрузки приводного двигателя и параметрам срабатывания технологических защит ГУ, но и по выдаваемой реактивной мощности. Возможности повысить напряжение в энергорайоне ограничены величиной потолочного возбуждения ГУ и тепловым состоянием роторов, понизить – статической

устойчивостью выдачи заданной активной мощности и локальными нагревами отдельных частей генераторов.

Важно отметить, что поскольку по ЛЭП связи энергорайона с энергосистемой в нормальных режимах могут иметь место перетоки реактивной мощности в энергорайон (+Q), то уставка МДА должна выбираться не по Q, а ΔQ , причем значение имеем правильный выбор интервала времени между замерами – Δt устройством КПП, что должно решаться при проектировании МДА.

С целью предотвращения излишних срабатываний МДА с выделением энергорайона в островной режим работы, когда это нецелесообразно, дополнительно необходимо предусмотреть блокировку МДА при $U > 90 \%$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушений электроснабжения потребителей. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010. — 188 с.: ил.
2. Герасимов С.Е., Меркурьев А.Г. Регулирование напряжения в распределительных сетях. — С-Пб., Центр подготовки кадров СЗФ АО «ГВЦ Энергетики» 1998 г
3. Копьев В.Н. Релейная защита. Принципы выполнения и применения: учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 153 с.
4. Нудельман, Г.С. Совершенствование делительной автоматики по напряжению для электростанций распределённой энергетики / Г.С. Нудельман, О.А. Онисова // Сборник докладов Международной конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем 2017». 2017, Санкт-Петербург, Россия.
5. Белослудцев, К.А. Возможные пути развития аварий, вызванных большим дефицитом мощности / К.А. Белослудцев, Ю.Е. Гуревич // Электрические станции. – 2004. – № 9. – С. 27-31.
6. Илюшин П.В. Режимные особенности реализации делительной автоматики на объектах распределенной генерации // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 69. Надежность развивающихся систем энергетики. В 2-х книгах. / Книга 1 / отв. ред. Н.И. Воропай. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. – 2018. – С. 18-27.

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Боева Л.М., Коврижных О.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
boeva@inbox.ru, kovroles@mail.ru*

Аннотация. *Предлагается структура системы поддержки принятия решений для построения сменно-суточного плана сталеплавильного производства. Описаны требования к экспертной системе, древовидная структура знаний в терминологии рассматриваемой проблемы.*

Ключевые слова: экспертная система; СППР (система поддержки принятия решений); ЛПР (лицо принимающее решение); технологическая координация; производственное расписание.

POSSIBILITY OF APPLYING THE SITUATION APPROACH TO THE OPERATIONAL PLANNING OF STEELMAKING PRODUCTION

Boeva L.M., Kovrizhnykh O.A.

*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
boeva@inbox.ru, kovroles@mail.ru*

Abstract. *The structure of a decision support system for the construction of shift and daily plan of steelmaking production is proposed. The requirements to the expert system are described, the tree structure of knowledge in the terminology of the problem under consideration.*

Keywords: expert system; decision support system; decision maker; technological coordination; production schedule.

Решением проблемы оптимизации сменно-суточного плана сталеплавильного цеха может быть совмещение наиболее приемлемых к условиям производства математических

методов и моделей построения производственного расписания со знаниями лица принимающего решение (ЛПР) в рамках системы поддержки принятия решений (СППР).

СППР используется для поддержки действий ЛПР в ситуациях выбора, когда невозможно или нежелательно иметь автоматическую систему представления и реализации всего процесса оценки и выбора альтернатив [1,2]. Генерацию таких альтернативных возможных решений можно осуществить посредством программной реализации с использованием экспертных систем (ЭС). Таким образом, в СППР могут использоваться средства имитационного, ситуационного моделирования и ЭС [3]. К такой системе ставятся следующие требования:

1)обеспечить своевременное построение оптимального контактного графика в условиях неопределенности параметров и нестабильности технологического процесса;

2)учитывать особенности конкретного сталеплавильного производства, быть адаптируемой к ним (например, марочник продукции, существующие технологические маршруты цеха, длительность технологических операций, количество основного и вспомогательного оборудования, требования к качеству продукции, ограничения на энергоресурсы);

3)использовать эвристические методы, методы ситуационного управления [4], обеспечивающие системе гибкость и эффективность;

4)обеспечивать «выживаемость» графика при воздействии на технологический процесс различного рода возмущений.

Предлагается разработка СППР оперативного планирования и управления в условиях неопределенности и нестабильности процесса на базе иерархических ситуационных моделей.

Рассмотрим возможность реализации СППР на базе оболочки GURU [5], в которой предлагается широкое разнообразие инструментальных средств обработки информации, объединенных с возможностями, основанными на знаниях, такими, вывод решения от фактов к цели, вывода решения от цели к фактам, смешанное формирование цепочки вывода, многозначные переменные и нечеткие рассуждения [6, 7]. Исходя из задач, поставленных перед разрабатываемой системой оперативного управления и планирования, и предъявляемых к ней требований, ее структура должна состоять из следующих функциональных блоков, представленных на рисунке 1.

Компонент управления и машина логического вывода предназначен для идентификации текущей ситуации, выбора допустимых условий перехода и действительных для данной ситуации правил перехода, а также выбора оптимального решения. Служит в процессе оперативного управления для выбора метода решения при рассогласовании между запланированным и текущим состоянием технологического процесса. При незначительных

рассогласованиях выбирается воздействие в виде рекомендаций, при выполнении которых возможно устранение рассогласования. При значительных рассогласованиях выбирается перепланирование графика, начиная с текущего момента времени. Метод решения выбирается на основе экспертных знаний. С точки зрения сталеплавильного производства за идентификацию текущих ситуаций отвечает ПЛК (программно-логический контроллер), который собирает и хранит информацию о состоянии агрегата в текущий момент времени.



Рис. 1 – Функциональная структура экспертной системы «Оперативное управление и планирование технологического процесса в ЭСПЦ»

Компонент формирования ситуаций предназначен для формирования совокупности плановых технологических ситуаций (контактный график). Плановые ситуации затем корректируются в соответствии с фактическими значениями контролируемых параметров текущей ситуации, хранящейся в рабочей памяти (общецеховой сервер) [8].

Компонент корректировки параметров предназначен для внесения изменений в плановую ситуацию и элементы базы знаний (к таким корректируемым параметрам относится, например, изменение марок стали или агрегатов внутри группы).

База знаний – специальным образом организованная совокупность всех декларативных и процедурных знаний, необходимых системе для принятия решений. Все знания разделены

на части (объекты) в соответствии с областью применения для облегчения выбора релевантных знаний, также выделены некоторые общие знания. Содержит, в частности, примерное время работы каждого агрегата на определенной группе марок стали, особенности расположения агрегатов, время транспортировки стальной заготовки между агрегатами, маршруты транспортировки.

Рабочая память – предназначена для хранения различных данных. Имеет многоуровневую, объектно-ориентированную структуру. Такая структура позволяет ускорить доступ к соответствующим данным и препятствует возникновению конфликта, когда при случайном переполнении какой-либо одной области, пострадают данные из другой.

Подсистема диалога – служит для ведения диалога с пользователями с целью выдачи запрашиваемой информации (также советов в режиме диалога), или ручной корректировки информации о ходе технологического процесса или состоянии агрегатов. Подсистема осуществляет взаимодействие технического и административного персонала (сталеваров, начальников смены и т.д.) с помощью телефонных и электронных каналов коммуникаций.

Интерфейс пользователя — комплекс программ, реализующих диалог пользователя с экспертной системой на стадии как ввода информации, так и получения результатов [9].

Интеллектуальность (способность решать поставленные задачи) ЭС будет зависеть как от состава, так и от способа представления знаний в системе.

Способность системы принимать корректные и правильные решения будет в большой степени зависеть от состава предметных знаний, поэтому при разработке состава БЗ необходимо более детально проработать состав именно этих знаний [10].

Исходя из общей структурной схемы гибридной экспертной системы, можно выделить следующие конкретные группы знаний:

- знания для формирования советов и рекомендаций по ходу технологического процесса. Предназначены для устранения рассогласования между запланированным графиком и текущим состоянием, а также предупреждения различных аварийных ситуаций, и т.д. Например, если происходит выход из строя агрегата АКОВ №2 система перераспределяет запланированные обработки между АКОВ №1 и АКОВ №3;

- знания для поддержки диалогового компонента, включают ограниченный набор фраз и слов с привязкой к объектам и ситуациям. Служат для упрощения взаимодействия человека и ЭС, представляют собой наборы команд и обозначений;

- знания, позволяющие на основе анализа рассогласования запланированного и текущего состояния технологического процесса, сделать заключение о возможности корректировки хода технологического процесса, либо о необходимости полного перепланирования;

- знания, используемые в процессе планирования для составления оптимального графика работы агрегатов цеха.

Рассмотрим подробнее предметные знания, используемые в процессе планирования.

Как было показано выше, предметные знания включают в себя факты (или декларативные знания), и исполняемые утверждения (или процедурные знания).

В связи со спецификой задачи, знания должны содержать следующую информацию:

- данные обо всех агрегатах цеха;
- параметры агрегатов (объединение в группы, коды агрегатов, технологические параметры), не влияющие на процесс обработки стали;
- параметры, влияющие на процесс обработки стали (например, износ футеровки, различные допущения и ограничения);
- данные о технологических маршрутах движения плавок по агрегатам (перечислены все возможные комбинации агрегатов при последовательной обработке плавок);
- данные о среднем времени обработки стали по агрегатам, в зависимости от группы стали;
- данные о среднем времени транспортировки стальной плавки с плавками между агрегатами;
- данные обо всех выплавляемых сталях в цехе (марочник сталей, включающий номер маршрута обработки, альтернативный маршрут, номер группы технологической обработки);
- знания, на основе которых выбирается МНЛЗ для очередной начатой серии (например, стали с высокими требованиями к качеству, направлять на более отрегулированный агрегат);
- знания, посредством которых определяется целесообразность начала разлива конкретной серии из задания.

При организации этих знаний, необходимо учесть, что имеются знания общие для различных групп, поэтому желательно объединять знания в древовидную структуру, позволяющую передавать свойства от общего к частному, что экономит память, и в целом упрощает доступ к ним.

Разрабатываемая система классификации ситуаций и формализованные правила для интерпретации указанных ситуаций позволят задавать иерархию плановых и управленческих ситуаций цеха как объекта управления, контролировать текущее состояние ситуации, принимать и реализовывать управленческие решения на основе динамического построения иерархии текущих и плановых ситуаций.

Данная система может работать как в режиме советчика, выдавая рекомендации для начальника смены и диспетчеров по оперативному планированию и управлению, так и в

режиме исследования информационных и организационных вопросов электросталеплавильного процесса.

Реализация предложенной СППР позволит повысить степень формализации процедуры технологической координации, снизить долю человеческого фактора при согласовании работы звеньев сталеплавильного комплекса. В конечном итоге это приведет к снижению материальных, энергетических, организационных потерь от рассогласования производственного расписания, сократит брак и повысит качество продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гнеденко Б.Д. Введение в теорию массового обслуживания /Б.Д. Гнеденко, И.Н. Коваленко. М.: Наука, 1987. 336 с.
2. AnyLogic. Учебное пособие по агентному моделированию. Режим доступа: www.xjtek.com
3. Аксенов К. А. Системы поддержки принятия решений. В 2 ч. Часть 1 : учеб. пособие для вузов / К. А. Аксенов, Н. В. Гончарова ; под науч. ред. Л. Г. Доросинского. — М. : Издательство Юрайт, 2018 ; Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та. — 103 с
4. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. – М.: Наука, 1986.
5. Граецкая О. В. Математические и инструментальные методы принятия решений: учебное пособие: О. В. Граецкая, Ю.С. Чусова, Н.С. Ксенз; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Южный федеральный университет, 2020. – 146 с.
6. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб: Питер, 2000. – 384 с.
7. Мешалкин В.П. Экспертные системы в химической технологии. М.: Химия, 1995
8. Боева Л.М., Коврижных О.А. О возможности ситуационного подхода к оперативному планированию сталеплавильного производства // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы семнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 17 декабря 2021 г. / Ред. коллегия: А.В. Боева, А.А. Кожухов, Е.В. Ильичева, Н.А. Полева, К.С. Гамбург, А.В. Макаров, С.В. Востокова, Л.Н. Крахт, Е.А. Черменев. – Старый Оскол, 2021. – 633 с.
9. Ясницкий Л.Н. Интеллектуальные системы : учебник / Л.Н. Ясницкий. – 2-е изд., электрон. – Москва : Лаборатория знаний, 2020. – 224 с.
10. Березовская Е.А. Системы поддержки принятия решений : учебное пособие: Е.А. Березовская, С.В. Крюков; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Южный федеральный университет, 2020. – 128 с.

К ВОПРОСУ О МОДЕРНИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Моторина Н.П.¹, Тетеревлёва Е.В.²

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
motorina.np@misis.ru

² Ухтинский государственный технический университет, Ухта

Аннотация. Энергетические установки технологических процессов предприятий имеют значительные потери мощности. Котлы, печи применяются на предприятиях металлургии, строительной индустрии, теплоэнергетики и в других отраслях. Рассмотрена модернизация электропривода дымососа котла.

Ключевые слова: энергетические установки; потери мощности; котел энергоустановки; электропривод дымососа.

ON THE ISSUE OF MODERNIZATION OF THE POWER EQUIPMENT OF THE TECHNOLOGICAL OBJECT

Motorina N.P.¹, Teterevleva E.V.²

¹ 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

² Ukhta State Technical University, Ukhta
motorina.np@misis.ru

Abstract. Power plants of technological processes of enterprises have significant power losses. Boilers, furnaces are used in metallurgy, construction, thermal power engineering and other industries. The modernization of the electric drive of boiler smoke pump is considered.

Keywords: power plant; power losses; boiler power plants; electric drive of the smoke pump.

Объекты энергетики в настоящее время характеризуются возросшей стоимостью органического топлива, природного газа, нефтепродуктов, а также растущими трудностями, связанными с охраной окружающей среды от воздействия энергетических объектов и в целом промышленных предприятий [1]. Металлургия и энергетика занимают первые позиции по

потреблению энергоресурсов. В настоящее время почти половина потребляемой в металлургии энергии превращается в потери, что влечет за собой значительные издержки производства и удорожание продукции. Исследования экономических показателей технологических процессов показывают необходимость дальнейшего повышения энергоэффективности объектов энергетики производств [2].

Одним из энергоемких процессов в металлургии является тепловая обработка металла – нагрев заготовок в печах. В механических цехах на термообработку поступают детали и изделия на заключительной стадии изготовления при нормализации, первичном обжиге, закалке, восстановлении структуры металла и насыщении его углеродом в специальных печах, цементации для увеличения срока службы изделий. В кузнечных цехах используют нагревательные печи для нагрева изделий под пластическую деформацию и термическую обработку.

Другими объектами энергетики на многих предприятиях являются котельные установки, производящие тепловую энергию (в виде пара и горячей воды), электрическую энергию (на ряде предприятий). Газифицированные котельные установки имеют сравнительно высокие технико-экономические показатели, что обусловлено малыми потерями теплоты от химической и механической неполноты сгорания природного газа. Однако потери с уходящими газами значительны и составляют 16...18%, а в установках без хвостовых поверхностей – до 25% и более. Для снижения себестоимости тепловой энергии особое внимание уделяется малозатратным технологиям. К ним относятся технологии повышения экономичности котельных установок и тепломеханического оборудования путем использования вторичных энергоресурсов [1].

Печи, котлы снабжены дымососами для удаления продуктов сгорания газа (или другого топлива) и создания нормального горения газа в воздушно-газовой среде. Отопительные котлы ДКВР 10/13 ОАО «Теплоэнерго» монтируются вместе с системой дымоудаления. Электродвигатель дымососа Д-12 с котлом работает в номинальном режиме. Объем удаляемых продуктов горения регулируется с помощью шиберов (механических направляющих аппаратов). При регулировании шибером двигатель дымососа работает при номинальной мощности и скорости вращения независимо от режима работы котла, часто с повышенным потреблением электроэнергии. Работа котла до номинального режима происходит при избыточном потреблении топлива, снижении мощности и КПД установки [3].

Дымосос Д-12 представляет собой тягодутьевую машину одностороннего всасывания, предназначенную для удаления дымовых газов из топок различных котельных агрегатов, оснащенных золоулавливающими системами и для вытяжки дымовых газов из газомазутных котлов (рис. 1)

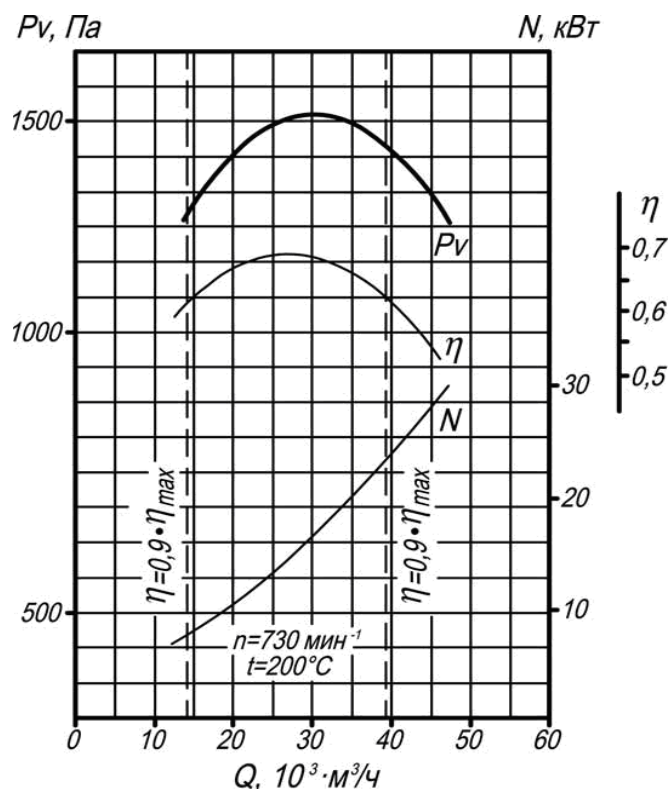


Рис. 1 – Аэродинамическая характеристика дымососа

Пуск тягодутьевых машин сопровождается значительными и длительными пусковыми токами, приводящими к провалу напряжения в электрической сети. Модернизация электропривода дымососа с установкой ПЧ позволит устранить эти недостатки и улучшить работу оборудования [4].

Для существующего дымососа выбор двигателя происходит из статической мощности дымососа P , учитывая производительность Q , напор H , КПД дымососа η_1 и передачи η_2 , коэффициент запаса k_3 . В расчётах получена мощность около 23 кВт. Мощность выбираемого двигателя должна быть не меньше расчётной величины. Выбран асинхронный двигатель (АД) $P_{дв}=30$ кВт. В данном случае двигатель работает в продолжительном режиме S1 с постоянным моментом на валу, при установившейся температуре. Выбор двигателя происходит, исходя из статической мощности P , статического момента двигателя M , скорости вращения ω , которые определяется по следующим выражениям:

$$P = \frac{k_3 \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}, \quad (1)$$

$$\omega_{св} = \frac{\pi \cdot n}{30}; \quad (2)$$

$$M = \frac{Q_B \cdot H_B}{\omega_{CB} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}; \quad (3)$$

$$P < P_H; \quad M < M_H; \quad (4)$$

В исследовании выполнен расчёт параметров схемы замещения двигателя и построение его механической характеристики. Доказано соответствие выбранного АД требованиям привода. Механическая характеристика обладает достаточно высокой жесткостью во всем рабочем диапазоне. Моделирование работы двигателя при прямом пуске в MATLAB/Simulink (рис.2) показало адекватность модели и параметров схемы замещения АД.

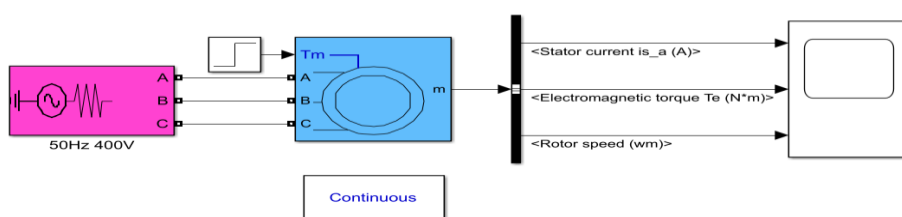


Рис. 2 – Модель двигателя в Matlab/Simulink

Анализ графических зависимостей изменения тока статора, электромагнитного момента и скорости вращения ротора двигателя ещё раз доказал правильность выбора двигателя, однако параметры во время прямого пуска требуют регулирования (бросок тока, колебания электромагнитного момента и скорости). В исследовании рассмотрен принцип скалярного частотного управления ПЧ – АД. Принцип является наиболее встречающимся в асинхронных электроприводах. Для него характерна техническая простота регулирования и измерения переменных асинхронного двигателя, а также возможность построение разомкнутых систем управления скоростью.

Скалярное управление асинхронным частотно-регулируемым электроприводом базируется на принципе изменения частоты и значений модулей переменных АД (потокосцеплений, магнитных потоков, напряжений и токов цепей двигателя). Управляемость двигателя может обеспечиваться совместным регулированием частоты f и напряжения U_1 . Данный способ выступает как частотное управление. Такой тип управления характеризуется малым критическим скольжением и постоянством критического момента при постоянстве питающего тока АД и изменении частоты. В разомкнутых системах такое управление исключено, так как с увеличением нагрузки резко падает магнитный поток двигателя и для обеспечения требуемых перегрузочных способностей АД по моменту нужно явное превышение номинальных значений напряжения и тока статора [5].

Был выбран преобразователь частоты (ПЧ) EI-7011-040H, который широко используется в технологическом оборудовании, где применяется управляемый электропривод: дымососах, смесителях, дозаторах, производственных линиях, системах водоснабжения, вентиляции, подъемно-транспортном и другом оборудовании. Выбор ПЧ производится таким образом, чтобы номинальные напряжение, мощность и ток двигателя не превышали соответствующие параметры ПЧ. Выполнен синтез структуры модернизируемого электропривода, составлена функциональная схема скалярного управления ПЧ-АД в пакете MATLAB (рис. 3).

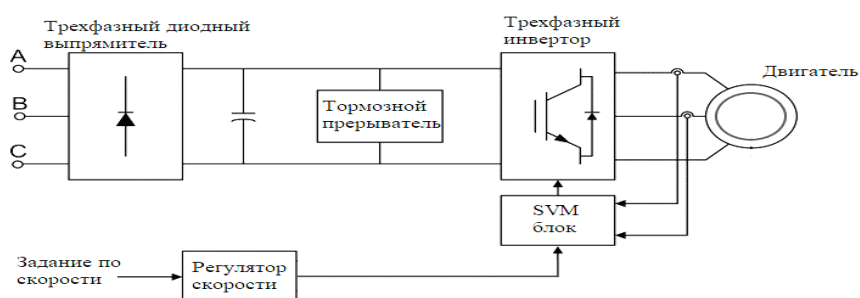


Рис. 3 – Функциональная схема скалярного управления ПЧ-АД

Составлена модель скалярного управления системы ПЧ-АД механизма дымососа в пакете MATLAB /Simulink. Задание на скорость используется для определения напряжения и частоты инвертора для поддержания постоянным соотношения и напряжения U / f . При моделировании асинхронной машины во вкладке окна Space Vector PWM VSI InductionMotorDrive заполнена параметрами схемы замещения существующего двигателя. Модель асинхронного привода со скалярным управлением и пространственно векторной широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) включает в себя блоки: регулятор скорости, пространственно-векторный регулятор, диодный выпрямитель, ёмкостной фильтр, трёхфазный инвертор.

Разработана модель регулятора скорости в среде MATLAB /Simulink. На входной интерфейс регулятора скорости подаётся значение задания по скорости, затем данное значение преобразуется в блоке задатчика интенсивности; в следующем блоке производится преобразование значений из об/мин в Гц. После, через определённые коэффициенты, которые определяются законом частотного регулирования, происходит формирование задающего значения напряжения и задающего значения частоты [6].

При моделировании асинхронного привода со скалярным управлением были получены графики зависимостей тока статора, скорости ротора, электромагнитного момента от времени. В результате экспериментов получены хорошие динамические свойства автоматизированного

электропривода, что позволяет сделать вывод о том, что выбранная система управления полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам управления электроприводом механизма дымососа котельной.

Выводы: Проведение модернизации электропривода дымососа поможет выполнить: устойчивый розжиг котла; плавное регулирование работы котла; поддержание оптимального соотношения газ/воздух; экономию энергии; увеличение срока службы оборудования; стабильный и высокий коэффициент мощности; минимизацию вредных выбросов в атмосферу. Эти мероприятия совместно с технологиями повышения экономичности энергетических установок и тепломеханического оборудования путем использования вторичных энергоресурсов позволят повысить энергоэффективность объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудинов, А.А., Зиганшина С.К. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. /А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. – М.: Машиностроение, 2011.–374с.
2. Летягина, Е.Н., Перцева Л.Н., Белова Е.В. К вопросу об энергосбережении на промышленных предприятиях / Е.Н. Летягина, Л.Н. Перцева, Е.В. Белова.–Экономика и предпринимательство. 2015.–№8-1 (61).–С.1111-1114.
3. ОАО «Теплоэнерго» [Электронный ресурс]. – URL: <http://teploenergo.org/index.php/25-standarty-raskrytiya-informatsii/81-o-reguliruemoj-organizatsii> (дата обращения 23.11.2021).
4. Вентиляционное оборудование [Электронный ресурс]. – URL: <https://armavent.ru/dymosos-d-12> (дата обращения 23.11.2021).
5. Мощинский Ю.А., Беспалов В.Я., Корякин АА., Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным // Электричество. М.: Издательство МЭИ – 1998. – № 4. – с. 38–42.
6. Лазарев, Ю. Моделирование процессов и систем в Matlab [Текст]: Учебный курс/ Ю.Лазарев. – СПб.: Питер, Киев: Издат группа BHV, 2005. - 512 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ НАСОСНОЙ ГРУППЫ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Диденко Н. Г., Молодых А.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
nikita.didenko.2016@mail.ru, young_al@mail.ru*

Аннотация. Процессы перекачки жидкости, требующие изменения расхода в широком диапазоне, часто оснащаются параллельно подключенными центробежными насосами. В таких насосных системах регулирование частоты вращения позволяет обеспечить требуемую производительность при различном количестве работающих насосных агрегатов и выбранных значениях частоты вращения. Информация, необходимая для моделирования подобных систем, применяемых для очистки сточных вод и в различных задачах по охлаждению и подаче воды, может быть недостаточной, а отсутствие мониторинга рабочих точек в реальном времени часто устанавливает ограничения для точной оптимизации энергоэффективности. Следовательно, необходимы легко реализуемые стратегии управления, которые могут быть приняты при минимальных данных о системе, что требует применения адаптивных методов.

Ключевые слова: насосные агрегаты; энергоэффективность; частота вращения; управление.

OPTIMIZATION THE OPERATION OF A PUMP UNITS GROUP RUNNING IN PARALLEL

Didenko N.G., Molodykh A. V.

*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
nikita.didenko.2016@mail.ru, young_al@mail.ru*

Abstract. Liquid pumping processes which require flow variations over a wide range are often equipped with centrifugal pumps connected in parallel. In such pumping systems, speed control enables the required capacity to be achieved with different numbers of pump units running and the

selected speed values. The information required for modeling such systems, such as wastewater treatment and various cooling and water supply tasks, can be scarce, and the lack of real-time monitoring of operating points often sets limitations for precise optimization of energy efficiency. Consequently, easily implementable control strategies that can be adopted with minimal system data are needed, requiring adaptive methods.

Keywords: pumping units; energy efficiency; rotation speed; control.

В статье рассматривается система управления параллельно работающими центробежными насосами, так как они являются наиболее распространенным типом насосов в области водоснабжения и водоотведения (рисунок 1).

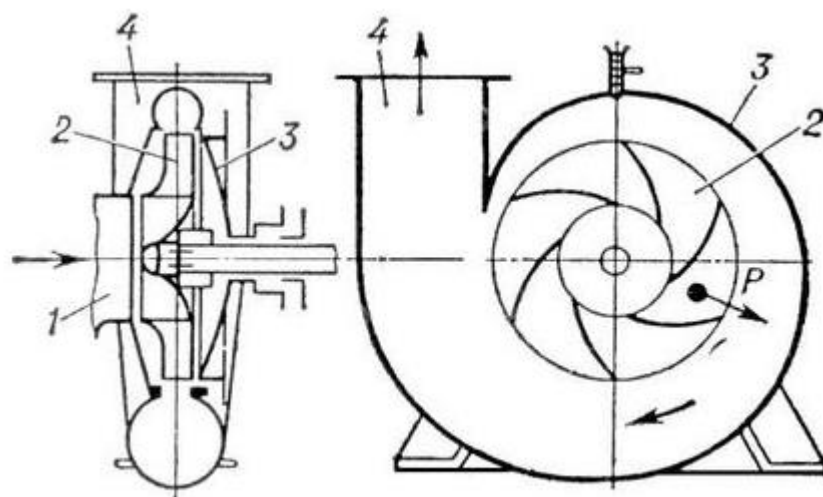


Рис. 1 – Схема центробежного насоса с односторонним подводом жидкости на рабочее колесо: 1 – отверстие для подвода жидкости; 2 – рабочее колесо; 3 – корпус; 4 – патрубок для отвода жидкости; P – центробежная сила

Рабочее колесо, представляющее собой диск с лопастями, закреплено на валу внутри корпуса с характерной формой улитки. Входное и выходное отверстия в корпусе предназначены для подвода и отвода жидкой среды. В качестве привода насоса используется электродвигатель, который может быть соединен с насосом через муфту или при помощи шкива. Вращательным движением рабочего лопастного диска жидкость под действием центробежных сил увлекается в направлении от центра колеса. При этом внутри колеса образуется зона пониженного давления (разрежение), а у краев – зона повышенного давления. Жидкость из подводящего трубопровода всасывается в центральную область рабочего колеса, а жидкость, находящаяся под давлением, выталкивается в нагнетательный трубопровод.

Основное количество насосных станций работают в таких условиях, когда расход и требуемое давление варьируются часто и в широких пределах, что влечёт за собой отклонения условий работы насосов от расчетных номинальных параметров, что приводит, в свою очередь, к снижению эффективности управления [1] и, как следствие, снижению энергоэффективности.

Низкая эффективность работы насоса в большинстве случаев обусловлена несоответствием гидравлических характеристик насоса и магистрального трубопровода, а не изъянами в конструкции насоса.

Исследование, проведенное Европейской комиссией [2], рекомендовало подбор насоса в соответствии с параметрами системы водоснабжения, как один из наиболее действенных методов энергосбережения.

Кроме этого, низкая энергоэффективность работы параллельно установленных насосных агрегатов может быть обусловлена и рядом других факторов: снижением эффективности работы по причине износа, работой не в оптимальной точке рабочей характеристики из-за необходимости подстраиваться под изменения параметров системы водоснабжения и т. д.

Поведение насоса при различных условиях эксплуатации отображается с помощью кривых эксплуатационных характеристик насоса. Обычно такие кривые приводятся для создаваемого напора, потребляемой мощности и КПД в зависимости от расхода, при постоянной скорости вращения. При данных характеристиках насоса и сети существует только одна точка, отвечающая условиям устойчивого равновесия. Графически она определяется по пересечению характеристик насоса и магистрали, а сама точка пересечения называется рабочей точкой.

В связи с тем, что при работе насосного агрегата могут меняться как текущее потребление жидкости, так и параметры магистрального трубопровода, возникает необходимость регулирования подачи насоса.

Различают две группы методов регулирования: как за счет изменения параметров сети (количественный метод), так и за счет изменения характеристик насоса (качественный метод).

К количественным способам регулирования лопастных насосов относятся:

- дросселирование напорной стороны насоса;
- дросселирование всасывающей стороны насоса;
- перепуск (байпасирование);
- выпуск воздуха во всасывающую трубу насоса;

- комбинация включения параллельно/последовательно работающих ступеней в многосекционных насосах или насосов в многонасосных системах;

- применение баков-аккумуляторов.

К качественным способам регулирования относятся:

- изменение частоты вращения рабочего колеса;
- изменение угла установки лопастей направляющего аппарата на входе в рабочее колесо насоса;

- изменение угла установки лопастей направляющего аппарата на выходе из рабочего колеса насоса;

- изменение ширины рабочего колеса;
- изменение степени открытия поперечного сечения каналов рабочего колеса;
- изменение угла установки лопастей рабочего колеса;
- обточка рабочего колеса.

Среди рассмотренных, наиболее распространенных на практике, методов регулирования насосных агрегатов наилучшее качество управления и наибольшую энергоэффективность обеспечивает использование частотного регулирования. Существует множество работ, которые посвящены увеличению эффективности частотно-регулируемого управления насосным агрегатом, как с точки зрения качества управления, так и с точки зрения энергоэффективности. Исходя из этого, можно сделать вывод, что задача разработки алгоритмов частотного управления параллельными насосными агрегатами является актуальной.

Оптимальному управлению насосными системами посвящено значительное количество научных работ. Для достижения лучших результатов при моделировании и оптимизации работы насосных станций используются различные математические модели и методы, включая линейное программирование [3], нелинейное программирование [4], жадные алгоритмы [5], динамическое программирование [6], нелинейная эвристическая оптимизация [7] и т. д.

В некоторых работах для оптимизации управления производительностью насоса предлагается применять интеллектуальные алгоритмы, такие как: генетические [8], многокритериальные эволюционные [9], адаптивные и производные [10] а также нечеткую логику [11].

Основная часть данных научных работ направлена на изучение порядка включения/отключения дополнительных насосов и определения оптимального момента времени для этого, а регулированием частоты вращения каждого работающего насоса, с

учетом текущего КПД как отдельного насосного агрегата, так и всей системы, зачастую пренебрегают.

Целью дальнейших исследований является разработка алгоритма управления, позволяющего максимизировать суммарный КПД насосной группы и повысить её энергоэффективность за счет точного определения оптимального времени пуска/остановки дополнительных насосов и соотношения частот ведущего и ведомых насосов в зависимости от требуемых значений расхода, давления и параметров системы насос-магистраль.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wu, P., Lai, Z., Wu, D., Wang, L. (2015). Optimization Research of Parallel Pump System for Improving Energy Efficiency.
2. European Commission. (2001). Study on improving the energy efficiency of pumps, Brussel, Belgium.
3. Burnell, D., Race, J., and Evans, P. (1993). "An overview of the trunk scheduling system for the london ring main." *Water Sci. Technol.*, 28(11–12), 99–109.
4. Yu, G., Powell, R.S., and Sterling, M.J.H. (1994). "Optimized pump scheduling in water distribution systems." *J. Optim. Theor. Appl.*, 83(3), 463–488.
5. Giacomello, C., Kapelan, Z., and Nicolini, M. (2013). "Fast hybrid optimization method for effective pump scheduling." *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000239, 175–183.
6. Zhao, T., Cai, X., Lei, X., and Wang, H. (2012). "Improved dynamic programming for reservoir operation optimization with a concave objective function." *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000205, 590–596.
7. Le'on, C., Martín, S., Elena, J., and Luque, J. (2000). "EXPLORE-Hybrid expert system for water networks management." *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 10.1061/(ASCE)0733-9496(2000)126:2(65), 65–74.
8. Yi Wang, Liang Cao Shu. The optimization of genetic algorithms running in parallel pump system. *Fluid Machin* 2003;31(10):22-5 (in Chinese).
9. Barán B, von Lücken C, Sotelo A. Multi-objective pump scheduling optimization using evolutionary strategies. *Adv Eng Softw* 2005;36(1):39e47.
10. Wang S, Burnett J. Online adaptive control for optimizing variable-speed pumps of indirect water-cooled chilling systems. *Appl Therm Eng* 2001;21: 1083e103.
11. Angel, P., Hernandez, J., and Agudelo, R. (1999). "Fuzzy expert system model for the operation of an urban water supply system." *Comput. Control Water Ind.*, 1, 449–457.

НАБЛЮДАТЕЛЬ, НЕПРЕРЫВНО ОЦЕНИВАЮЩИЙ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПО ДИСКРЕТНЫМ ДАННЫМ ЛАБОРАТОРНОГО АНАЛИЗА

Кривоносов В.А.¹, Козырь О.Ф.¹, Соколов В.В.²

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»

309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42., krivonosov_v_a@mail.ru, kozyr_o@mail.ru

² Череповецкий государственный университет, г. Череповец, пр. Луначарского, 5, bbc1953@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема непрерывного контроля текущего состояния технологического процесса, измерение выходов которого выполняется в дискретные моменты времени с использованием результатов лабораторного анализа проб конечного и промежуточного продуктов. Предложен непрерывно-дискретный наблюдатель, позволяющий непрерывно оценивать значения координат состояния динамического технологического процесса, а также низкочастотные тренды входных возмущений.

Ключевые слова: координаты состояния; математическая модель; дискретные измерения выхода; наблюдатель состояния объекта и входных возмущений.

OBSERVER, CONTINUOUSLY EVALUATING THE STATE OF A PROCESS FACILITY ON DISCRETE DATA OF LABORATORY ANALYSIS

Krivososov V.A.¹, Kozyr O.F.¹, Sokolov V.V.²

¹ 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, kozyr_o@mail.ru

² Cherepovets State University, Cherepovets, Lunacharsky Ave., 5, bbc1953@mail.ru

Abstract. The problem of continuous monitoring of the current state of the technological process is considered, the output of which is measured at discrete times using the results of laboratory analysis of samples of the final and intermediate products. A continuous-discrete observer is proposed, which makes it possible to continuously evaluate the values of the coordinates of the state of a dynamic technological process, as well as low-frequency trends in input disturbances.

Keywords: Coordinates of state; mathematical model; discrete measurements of the output; observer of the state of the object and input disturbances.

ВВЕДЕНИЕ

Контроль многих непрерывных технологических объектов управления (ТОУ) включает приборное измерение некоторых параметров, а также периодический лабораторный анализ проб, отобранных в контрольных точках технологических агрегатов. Интервалы времени между отборами проб зачастую настолько велики, что не позволяют своевременно отреагировать на отклонение характеристик технологического процесса от оптимальных значений. Оценка текущего состояния ТОУ осложняется возмущениями по составу сырья, появлением систематических погрешностей в показаниях некоторых измерительных приборов, а также значительной инерционностью объекта. Повышение точности и оперативности контроля состояния таких объектов по результатам приборных измерений и данных лабораторного анализа является весьма актуальной задачей.

Одним из наиболее эффективных средств оценки состояния динамических систем являются так называемые наблюдатели состояния [1-4]. В данном докладе рассматривается непрерывно-дискретный наблюдатель, позволяющий непрерывно оценивать вектор состояния ТОУ, а также низкочастотный тренд возмущающих воздействий.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть стационарный динамический ТОУ описывается в пространстве состояний системой уравнений

$$\begin{cases} X'(t) = A \cdot X(t) + B \cdot U(t) + D \cdot F(t); \\ Y(t) = C \cdot X(t), \end{cases} \quad (1)$$

где $X(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))^T$ – вектор координат состояния; $U(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_r(t))^T$ – вектор управляющих воздействий; $F(t) = (f_1(t), f_2(t), \dots, f_p(t))^T$ – вектор возмущающих воздействий; $Y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t))^T$ – вектор измеряемых выходных сигналов; A – $(n \times n)$ матрица состояния; B – $(n \times r)$ матрица управления; D – $(n \times p)$ матрица возмущения; C – $(m \times n)$ матрица выхода объекта.

Необходимо разработать наблюдатель, непрерывно оценивающий текущие значения вектора координат состояния $X(t)$ и низкочастотные тренды вектора возмущения $F(t)$ по непрерывным измерениям управляющих воздействий $U(t)$ и результатам измерения выхода $Y(t)$, полученным в дискретные моменты времени.

РАЗРАБОТКА НЕПРЕРЫВНО-ДИСКРЕТНОГО НАБЛЮДАТЕЛЯ

Учитывая, что выше поставлена задача восстановления не только координат состояния $X(t)$, но и возмущений $F(t)$, включим составляющие $F(t)$ в вектор $\hat{X}(t)$ оцениваемых наблюдателем координат $\hat{X}(t) = (\hat{x}_1(t), \dots, \hat{x}_n(t), \hat{f}_1(t), \dots, \hat{f}_p(t))^T$. Символом " $\wedge$ " обозначены оценки соответствующих сигналов. Заметим, что с точки зрения частотных характеристик, ТООУ, как правило, представляют собой фильтры низкой частоты. Поэтому высокочастотные составляющие возмущения $F(t)$ хорошо подавляются инерционными объектами и не оказывают существенного влияния на состояние ТООУ. Для задач контроля и управления основной интерес представляют низкочастотные тренды возмущений [2-4]. С целью определения именно таких трендов возмущений в модели наблюдателя будем полагать, что скорости изменения всех оцениваемых $\dot{f}_i(t)$ равны нулю

$$\frac{d\hat{f}_i(t)}{dt} = 0 \quad \forall i = \overline{1, p}. \quad (2)$$

Уравнения непрерывного наблюдателя в матричной форме имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{\hat{X}}(t) = A_H \cdot \hat{X}(t) + B_H \cdot U(t) + K \cdot \Delta Y(t); \\ \hat{Y}(t) = C_H \cdot \hat{X}(t), \end{cases} \quad (3)$$

где A_H - расширенная $(n+p) \times (n+p)$ матрица состояния наблюдателя, включающая элементы матриц A и D объекта;

B_H - $(n+p) \times r$ матрица управления, последние p строк которой нулевые; K - $(n+p) \times m$ матрица коррекции; $\Delta Y(t) = Y(t) - \hat{Y}(t)$ - вектор рассогласования между выходом объекта $Y(t)$ и его оценкой $\hat{Y}(t)$; C_H - $m \times (n+p)$ матрица выхода наблюдателя.

Вектор $\Delta Y(t)$ в непрерывном наблюдателе определен в каждый момент времени, что позволяет постоянно корректировать оценки координат состояния по результатам измерения выхода $Y(t)$. При этом матрица K выбирается так, чтобы все корни s_i ($i = \overline{1, n+p}$) характеристического уравнения наблюдателя

$$\det[S \cdot I - (A_H - K \cdot C_H)] = 0 \quad (4)$$

лежали в левой полуплоскости комплексной плоскости.

Где $\det$ – символ определителя, $I - (n+p) \times (n+p)$ единичная матрица.

Однако, в ситуации, когда измерение выходов объекта производится с периодом дискретности $T_{\text{и}}$, вектор $\Delta Y(t)$ известен только в моменты измерения. Поэтому коррекцию движения наблюдателя будем осуществлять именно в эти моменты, используя короткие корректирующие импульсы $\lambda \cdot \Delta Y(t)$, длительность τ которых значительно меньше $T_{\text{и}}$:

$$\Delta Y(t) = \begin{cases} Y(t) - \hat{Y}(t) & \text{при } j \cdot T_{\text{и}} \leq t \leq j \cdot T_{\text{и}} + \tau, (j = 0, 1, 2, \dots); \\ 0 & \text{при } j \cdot T_{\text{и}} + \tau < t < (j+1) \cdot T_{\text{и}}, (j = 0, 1, 2, \dots). \end{cases} \quad (5)$$

Коэффициент λ усиления импульсов коррекции выбирается так, чтобы обеспечить устойчивость и необходимую скорость процесса наблюдения.

Такой подход позволяет рассматривать наблюдатель как амплитудно-импульсную систему, непрерывная часть которой описывается моделью (3), а импульсный элемент (ИЭ) в канале коррекции формирует короткие прямоугольные импульсы длительностью $\tau \ll T_{\text{и}}$. Схема непрерывно-дискретного наблюдателя приведена на рисунке 1. Непрерывные оценки координат состояния в таком наблюдателе на интервалах времени между импульсами формируются на основе измеряемого управления $U(t)$ и математической модели объекта. В моменты поступления данных лабораторного анализа срабатывает канал коррекции, изменяющий оценки наблюдателя с целью приближения их к истинным значениям соответствующих координат объекта.

Необходимо отметить, что строгое постоянство периода $T_{\text{и}}$ не требуется. Разрабатываемая процедура наблюдения сохраняется и в том случае, если какие-то пробы на анализ отобраны несколько раньше или позже установленного регламентом времени.

Непрерывная матричная передаточная функция разомкнутой части наблюдателя по каналу $\Delta Y \rightarrow \hat{Y}$ определяется следующим образом [3]:

$$W_{\Delta Y, \hat{Y}}(S) = \lambda \cdot C_{\text{Н}} [S \cdot I - A_{\text{Н}}]^{-1} K, \quad (6)$$

где I – единичная $(n+p) \times (n+p)$ матрица.

Дискретная передаточная функция $W_{\text{РАЗ}}(Z)$ разомкнутой части с учетом импульсного элемента может быть получена в результате Z – преобразования $W_{\Delta Y, \hat{Y}}(S)$:

$$W_{PA3}(Z) = \frac{\tau}{T_I} \cdot Z \left\{ W_{\Delta Y, \hat{Y}}(S) \right\}. \quad (7)$$

Для обеспечения устойчивости наблюдателя коэффициенты k_{ij} матрицы коррекции K должны быть выбраны так, чтобы все корни характеристического уравнения замкнутой системы лежали в круге единичного радиуса. Выбор коэффициентов коррекции определяет скорость и характер переходных процессов в наблюдателе. При этом набор коэффициентов k_{ij} , обеспечивающий большее быстродействие наблюдателя, как правило, повышает его чувствительность к неизбежным погрешностям измерения выхода $Y(t)$.

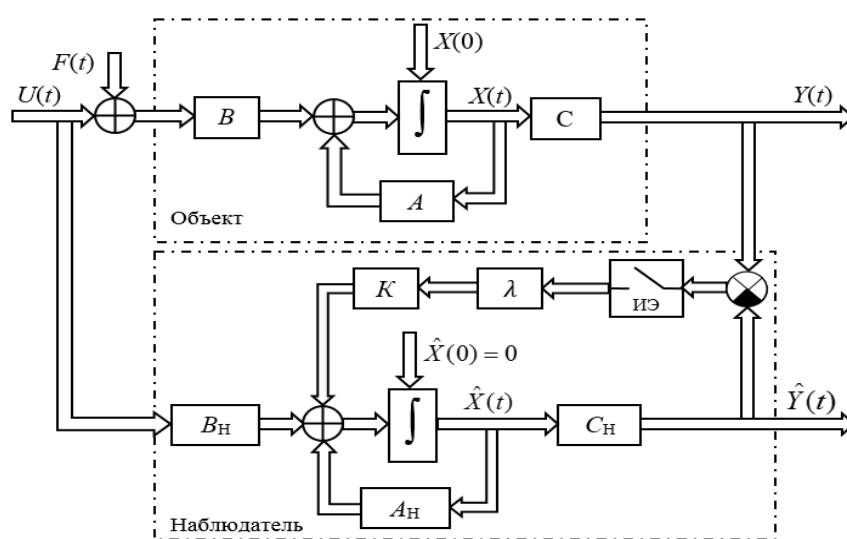


Рис. 1 – Структурная схема непрерывно-дискретного наблюдателя состояния

В [3, 4] приведены примеры построения непрерывно-дискретных наблюдателей, позволяющих оценить координаты состояния и низкочастотные тренды возмущений для химико-технологических процессов по дискретным данным лабораторного анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коровин С.К., Буданова А.В., Фомичев В.В. Об одном подходе к построению функциональных наблюдателей для систем с запаздыванием // Доклады Академии наук, 2011. Т. 441. № 1. С. 33-37.
2. Еременко И.Ф., Кривоносов В.А. Система управления с наблюдателем координат состояния и неопределенного возмущения // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2005. № 7, С.10-13

3. Кривоносов В.А., Бабенков В.А. Непрерывно-дискретный наблюдатель состояния химико-технологического процесса // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2014. № 1 (303), С. 128-135

4. Кривоносов В.А., Криушин Д.В. Повышение эффективности контроля и управления технологическим процессом производства аммофоса на основе наблюдателей и регуляторов состояния // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 363-368.

АДАПТАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООБМЕНА ДЛЯ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ТРЕТЬЕГО РОДА В КОНЕЧНО-РАЗНОСТНЫХ МОДЕЛЯХ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Жуков П.И.¹, Глущенко А.И.²

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»

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

² Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва

zhukov.petr86@yandex.ru, strondutt@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается расширенный процесс адаптации коэффициента теплообмена, применяемый в граничных условиях третьего рода (Ньютона-Рихмана) в краевых задачах нестационарной теплопроводности. Основной задачей было построение математической модели, которая бы могла однозначно установить зависимость коэффициента теплообмена от температуры теплоносителя.

Ключевые слова: модель конечных разностей; нестационарная теплопроводность; адаптация; теплофизические коэффициенты; сеточная модель.

ADAPTATION OF HEAT TRANSFER COEFFICIENT FOR BOUNDARY CONDITIONS OF THIRD KIND IN FINITE-DIFFERENCE MODELS OF TRANSIENT HEAT CONDUCTION

Zhukov P.I.¹, Glushchenko A.I.²

¹ Sary 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, Sary Oskol, microdistrict named after Makarenko, 42

zhukov.petr86@yandex.ru, strondutt@mail.ru

² V.A. Trapeznikov Institute of Management Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract. The scope of this paper is the advanced adaptation of heat transfer coefficient of boundaries third-kind condition. The general aim of this research is to derive a mathematical model to describe the dependence between the heat transfer coefficient and the temperature of the heat carrier.

Keywords: finite-differences model; transient heat transfer; adaptation; thermodynamical coefficients; grid model.

Введение

Крупная промышленность активно использует сложные тепловые объекты, что формирует потребность поиска математических моделей, способных описать физические процессы, которые в них происходят. Практическую актуальность также поддерживает развитие нестандартных систем управления, например на базе «Advanced Process Control»-концепции, предполагающую наличие модели управляемого процесса в ядре системы [1, 2].

Из-за потокового характера производства, промышленность, в том числе и металлургия, вынуждена производить нагрев твердых тел в печах при непостоянных и неравномерных условиях. Примером такой тепловой обработки может служить нагрев в проходной печи [3].

Сложный характер конечных условий нагрева формирует общую нестационарность процесса теплопередачи, что не позволяет применить для моделирования стационарные модели термодинамики. Решить данную проблему можно, применив модели нестационарной теплопроводности.

1. Материалы и методы исследования

Модели нестационарной теплопроводности строятся на основе одноименного уравнения, которое имеет вид (1):

$$\rho \cdot c \frac{\delta T}{\delta t} = \text{div}(\lambda \cdot \text{grad}(T)), \quad (1)$$

где, ρ – плотность нагреваемого вещества кг/м^3 , λ – теплопроводность нагреваемого вещества $\text{Вт/}(\text{кг}\cdot\text{К})$, c – теплоемкость нагреваемого вещества, $\text{Дж/}(\text{кг}\cdot\text{К})$. Данное уравнение устанавливает однозначное соответствие между температурным полем во времени и температурным полем в пространстве при помощи теплофизических коэффициентов, чем позволяет покрыть неоднородность временных условий.

Если определить фиксированную геометрию по пространству в виде прямоугольника, и принять допущение о том, что внутри нагреваемого пространства отсутствуют «истoki», то дивергенцию градиента температурного поля в правой части уравнения можно будет переписать в виде (2):

$$\rho \cdot c \frac{\delta T}{\delta t} = \lambda \cdot \left(\frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{d^2 T}{dy^2} \right) \quad (2)$$

Данное уравнение лежит в основе многих работ (например, [4,5]), посвященных описанию процесса нагрева твердых тел в металлургии. Однако, нестационарность нагрева выражается не только в неоднородности временных условий, но и краевых температурных условий. Для того, чтобы учесть это, все теплофизические коэффициенты должны быть функциями от температуры, а уравнение (2) иметь вид (3):

$$\rho(T) \cdot c(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda(T) \cdot \left(\frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{d^2 T}{dy^2} \right) \quad (3)$$

В такой постановке становится актуальной задача поиска этих температурных зависимостей для плотности, теплопроводности и теплоемкости, которая общим словом может быть названа адаптацией. Сама же задача аналитически может быть сформулирована как потребность нахождения оптимальных правых частей системы (4):

$$\begin{cases} \lambda = f_1(T) \\ \rho = f_2(T) \\ c = f_3(T) \end{cases} \quad (4)$$

Ранее в работах [6,7,8] уже приводились подходы к решению поставленной задачи, в том числе на основе аппроксимации регрессионными уравнениями дискретных замеров исследуемых коэффициентов. В данной же работе предлагается рассмотреть процесс адаптации коэффициента, который в явном виде не представлен в уравнении (3), а содержится в граничных условиях конвективного теплообмена.

2. Разработка математической модели

Рассмотрим пример граничного условия третьего рода, которое описывает конвективный теплоперенос (5):

$$\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial l} = \kappa(T)(T - T_{\text{ог}}), \quad (5)$$

где l – это пространственная координата. Конвективным коэффициентом здесь называют коэффициент теплообмена на границе системы «твердое тело-газ» (κ). Если предыдущие этапы адаптации связаны с контекстом нагреваемого объекта, то нахождение температурной зависимости для коэффициента теплообмена связано с нагревающим веществом. Введем однозначность некоторых условий и положим, что процесс нагрева

ведется в газовой печи, и нагревающей средой выступают продукты сгорания природного газа (диоксид углерода, водяные пары, некоторый избыточный кислород и азот).

Искать зависимость коэффициента от температуры можно двумя способами: интегральным преобразованием (5) через уравнение (3) [9], или выразив его через критерий Нуссельта [10] – (6).

$$\kappa(T) = \frac{Nu * \lambda_B(T)}{l} \quad (6)$$

Здесь l – определяющий размер или высота вертикальной поверхности теплообмена, м; λ_B – это коэффициент теплопроводности воздушной нагревающей среды, Вт/(м*К). Для расчета критерия Нуссельта необходимо использовать критериальное уравнение вида (7):

$$Nu = f(Re, Pr, Gr, \dots), \quad (7)$$

где Re – критерий Рейнольдса, Pr – критерий Прандтля, Gr – критерий Грасгофа [11]. Примем допущение, что объем постоянный, а в печи присутствует промежуточный режим движения теплоносителя, вызванный разряжением. Тогда уравнение (7) примет вид (8):

$$Nu = C \cdot (Gr \times Pr)^n \cdot \varepsilon_t, \quad (8)$$

где C и n – это эмпирические коэффициенты, зависящие от характера движения теплоносителя; ε_t – это поправка, которая призвана внести в уравнение учет динамики физических свойств теплоносителя от температуры, который находится по формуле (9).

$$\varepsilon_t = \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad (9)$$

Pr_w – здесь критерий Прандтля, рассчитанный для теплоносителя, но на основе температуры стенки нагреваемого объекта, а не температуры теплоносителя. Для решаемой задачи уравнение (8) будет иметь вид (10).

$$Nu = 0,58 \cdot (Gr \times Pr)^{0,25} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad (10)$$

Известно, что для расчета критерия Прандтля нужно взять отношение кинематической вязкости нагревающей среды (ν_B) к коэффициенту температуропроводности этой среды (a_B). Применимо к исследуемому процессу нестационарной теплопроводности, взять заявленные коэффициенты необходимо в динамике от температуры, поэтому перепишем уравнение для критерия Прандтля сразу в виде (11):

$$Pr(T) = \frac{\nu_B(T)}{a_B(T)} = \frac{\nu_B(T) \cdot \rho_B(T) \cdot c_B(T)}{\lambda_B(T)}, \quad (11)$$

где ρ_B и c_B – это коэффициенты плотности и теплоемкости среды. a_B – коэффициент температуропроводности газовой среды, берущийся как отношение теплопроводности к произведению плотности на теплоемкость. Для критерия Грасгофа также справедливо приведение к температурной зависимости составных частей формулы, поэтому сразу перепишем его в виде (12).

$$Gr(T) = \frac{g \cdot l^3}{\nu_B^2(T)} \cdot \beta(T) \cdot \Delta T \quad (12)$$

Здесь g – ускорение свободного падения ($9,8 \text{ м/с}^2$); ΔT – это модуль разности между температурой поверхности нагреваемого объекта и температурой нагревающей среды, К; $\beta(T)$ – это коэффициент объемного расширения нагревающей среды, зависящий в данном случае от её средней температуры (T_{cp}) в момент времени t – (13).

$$\beta(T) = \frac{1}{T_{cp}(t)} \quad (13)$$

Опираясь на вышеизложенное, можно предположить, что процесс адаптации коэффициента теплообмена (κ) сводится к нахождению правых частей системы (14), по аналогии с адаптацией системы (4).

$$\begin{cases} \nu_B(T) = f_1(T) \\ \rho_B(T) = f_2(T) \\ c_B(T) = f_3(T) \\ \lambda_B(T) = f_4(T) \end{cases} \quad (14)$$

Нахождение теплопроводности воздуха (λ_v), его плотности (ρ_v) теплоемкости (c_v) и кинематической вязкости (ν_v) от температуры возможно по аналогии с решениями, предлагаемыми в работах [6,7,8] или [9]. Конечная точность уточнения коэффициента зависит от выбранного метода поиска правых частей системы (14).

Заключение

В результате, решив систему (14) и найдя оптимальные правые части, можно будет подставить их в уравнения (11) и (12), чтобы получить значения искомых критериев для уравнения (10). Как можно заметить, углубленные процессы адаптации структурно разделимы на базовые процессы. Опираясь на (4) и (14), можно сделать вывод, что имеют место вложенные процессы нагрева, и газовая прослойка, выступающая нагревающим субъектом для модели (2) и (3), сама является нагреваемым объектом. Таким образом, нагрев в газовой печи с воздушным теплоносителем предполагает собой термодинамические взаимодействия на границах двух систем: «газ-газ» и «твердое тело-газ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спесивцев А. В., Кимяев И. Т. Усовершенствованное управление технологическими процессами (АРС) на базе регулятора на нечеткой логике для сложных технологических комплексов // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах. – 2020. – С. 175-181.
2. Федорова Э. Р., Моргунов В. В., Филев Д. С. Использование цифровых двойников в промышленности и в образовательном процессе // Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса. – 2020. – С. 371-378.
3. Андреев С. М. Прогнозирование времени нагрева заготовок в условиях нестационарного режима работы методических печей // Электротехнические системы и комплексы. – 2017. – №. 3 (36).
4. Божков А. И. Математическое описание формирования неплоскостности полос при термообработке в агрегате непрерывного отжига // Черные металлы. – 2018. – №. 11. – С. 34-37.
5. Бирюков А. Б., Гнитиев П. А. Математические модели тепловой обработки металла в печах // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – Т. 1. – №. 11. – С. 56-62.
6. Дабас, М. Р. Адаптация математической модели теплового режима полосы в чистовой группе клетей стана горячей прокатки // Управление большими системами : труды XVII Всероссийской школы-конференции молодых ученых, Москва-Звенигород, 06–09

сентября 2021 года. – Москва: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2021. – С. 515-520. – DOI 10.25728/ubs.2021.052.

7. Станкус С. В. и др. Коэффициенты теплопроводности нержавеющей стали 12X18H10T в широком интервале температур // Теплофизика высоких температур. – 2008. – Т. 46. – №. 5. – С. 795-797.

8. Жуков П. И., Глущенко А. И., Фомин А. В. Адаптация значений коэффициентов теплопереноса для сеточной модели нестационарного нагрева стали // Управление большими системами : труды XVII Всероссийской школы-конференции молодых ученых, Москва-Звенигород, 06–09 сентября 2021 года. – Москва: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2021. – С. 515-520. – DOI 10.25728/ubs.2021.053

9. Акимов А. И. и др. Уточнение значений конвективных коэффициентов теплоотдачи, входящих в граничные условия третьего рода задачи теплопроводности на основе их обратных задач // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020. – №. 10. – С. 55-58.

10. Бельских А. М. и др. Математическое моделирование термовихревого теплообмена // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа-регионам». – 2021. – С. 88-89.

11. Сахин В. В., Герлиман Е. М., Голикова В. В. Критерии подобия в теплопередаче // Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы. – 2017. – С. 33-39.

О ПЕРСПЕКТИВЕ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ НЕЙРОСЕТЕВОГО КОНТРОЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Фирсов О.А., Петров В.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
oleg.firsov.1997@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается возможность применения нейросетевых технологий для контроля средств индивидуальной защиты на производстве.

Ключевые слова: нейронные сети; средства индивидуальной защиты; распознавание; система контроля; CNN.

ABOUT THE PROSPECT OF BUILDING A SYSTEM OF NEURAL NETWORK CONTROL OF PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

Firsov O.A., Petrov V.A.

*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
oleg.firsov.1997@mail.ru*

Abstract. The article discusses the possibility of using neural network technologies to control personal protective equipment at work.

Keywords: neural networks; personal protective equipment; recognition; control system; CNN.

На сегодняшний день, в связи с высоким темпом развития промышленности, довольно остро встает вопрос о снижении производственного травматизма на предприятиях. Основные причины и показатели травматизма по данным здравоохранения остаются практически такими же, как в предыдущие несколько лет. Чаще всего работники получают травмы вследствие воздействия следующих факторов:

- падение с высоты;
- воздействие механизмов и предметов;

- падение предмета на человека;
- дорожно-транспортное происшествие.

В экономическом плане такие факторы сильно увеличивают часы простоя и расходы на компенсации. Поэтому имеет смысл реализации таких систем контроля, которые могли бы значительно снизить тот или иной показатель производственного травматизма. Для решения данной задачи предполагается использовать распознавание образов, с помощью нейронных сетей.

В настоящее время выделяют четыре основных задачи, которые в той или иной мере должны решать системы компьютерного зрения: классификация изображения по типу объекта, которое оно содержит (Classification), определение всех пикселей объектов определённого класса или фона на изображении (Semantic segmentation), обнаружение всех объектов указанных классов и определение охватывающей рамки для каждого из них (Object detection), а также определение пикселей, принадлежащих каждому объекту каждого класса по отдельности (Instance segmentation). Поскольку задача контроля наличия СИЗ является комплексной задачей, то используемая архитектура должна решать не только задачу классификации, но и сегментации. В связи с этим такие архитектуры как ResNet, SENet, EfficientDet и другие, которые хорошо зарекомендовали себя в решении задач классификации, для решения данной задачи не подходят. Для решения комплексных задач чаще всего применяют такие архитектуры как R – CNN [1], Fast R – CNN [2], Faster R – CNN [3], Mask R – CNN [4] и YOLO [5].

Система обнаружения объектов R-CNN работает в три этапа:

Первый этап генерирует порядка 2000 областей, которые с высокой долей вероятности содержат какой-либо объект, отличный от фона – region proposals. В R-CNN на этом этапе используется алгоритм Selective Search или взаимозаменяемые.

Каждое из окон перемасштабируется и обрезается в изображение размера 227×227 пикселей и подается на вход CNN, которая в свою очередь пропускает его через пять сверточных слоев, два полносвязных слоя и выдает в виде вектора признаков размерности 4096.

Финальный этап представляет собой набор линейных SVM (support vector machine), которые причисляют каждый вектор какому-либо классу и отдельный регрессор обрамляющих окон.

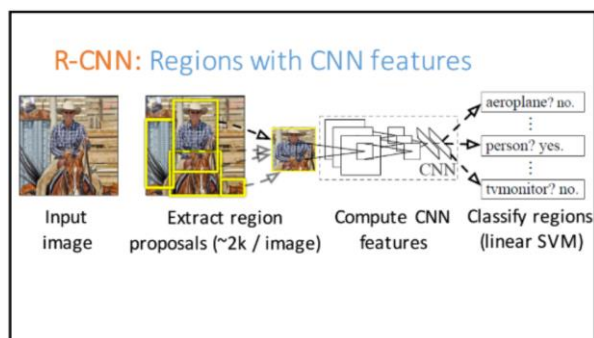


Рис. 1 – Схема R-CNN

R-CNN имеет ряд недостатков, самый серьезный заключается в том, что требуется порядка двух-трех дней работы GPU, чтобы обучить алгоритм. При обработке требуется порядка 47 секунд на изображение, что тоже очень долго. Таким образом, основное слабое место заключается в том, что каждое отдельное окно-кандидата требуется пропустить через CNN.

Нейросеть получает на вход изображение и набор окон-кандидатов.

Несколько сверточных слоев и слоев max pooling производят карту признаков (feature maps).

Следующий слой RoI (region of interest) выделяет один вектор признаков из этой карты для каждого предположения объекта.

Этот вектор признаков в конечном итоге пропускается через серию полносвязных слоев и передается в два выходных слоя:

- слой softmax, производящий оценку вероятности по каждому классу;
- слой регрессора обрамляющих окон (bounding box regressor), который возвращает уточненные позиции обрамляющего окна.

Fast R-CNN показывает хорошие результаты для скорости обработки изображения, но он все еще опирается на медленные алгоритмы, генерирующие окна кандидаты. Selective Search обычно требует порядка 1-2 секунд на изображение, тем самым ограничивая частоту обработки значением в 0.5 FPS, тем самым сводя на нет все дальнейшие улучшения скорости работы сверточной нейросети.

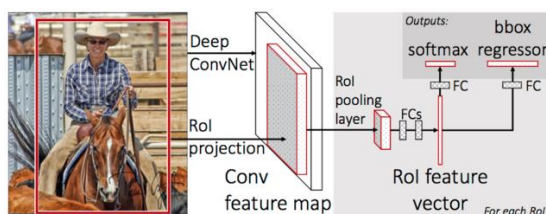


Рис. 2 – Схема Fast R-CNN

	R-CNN	Fast R-CNN
Training Time:	84 hours	9.5 hours
(Speedup)	1x	8.8x
Test time per image	47 seconds	0.32 seconds
(Speedup)	1x	146x
mAP (VOC 2007)	66.0	66.9
Test time per image with Selective Search	50 seconds	2 seconds
(Speedup)	1x	25x

Рис. 3 – Результаты Fast R-CNN в сравнении с R-CNN

Алгоритм Faster R-CNN является логическим продолжением алгоритма Fast R-CNN, в котором решены проблемы долгого и не очень точного поиска окон-кандидатов (Selective Search, MultiBox). Тем самым, кроме значительного ускорения работы увеличилась средняя точность mAP с 66% до 70,4% на VOC 2012. Faster R-CNN использует для первого этапа собственную глубокую полносвязную нейросеть RPN (Region Proposal Networks), а для второго алгоритм Fast R-CNN.

RPN строится путем добавления двух новых сверточных слоев поверх общих сверточных уровней Fast R-CNN. Так как большая часть вычислений в RPN используется совместно с сетью обнаружения, только стоимость двух дополнительных уровней влияет на скорость всего алгоритма Faster R-CNN.

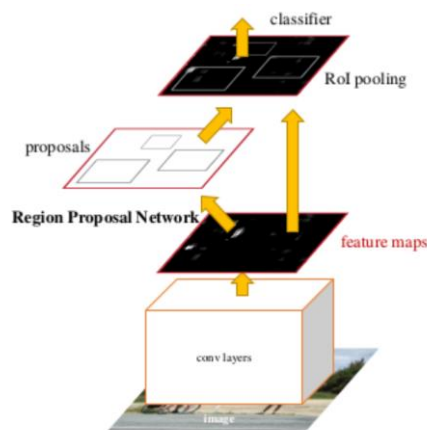


Рис. 4 – Схема Faster R-CNN

	R-CNN	Fast R-CNN	Faster R-CNN
Test time per image (with proposals)	50 seconds	2 seconds	0.2 seconds
(Speedup)	1x	25x	250x
mAP (VOC 2007)	66.0	66.9	66.9

Рис. 5 – Сравнительные характеристики

Mask R-CNN — улучшение алгоритма Faster R-CNN, предложенное в 2017 году и обеспечивающее осуществлять возможность сегментации экземпляров объектов, а не только составление ограничивающих рамок с классификацией. В Mask R-CNN к традиционным для алгоритмов семейства R-CNN метке класса и координатам ограничивающей рамки добавляется также маска объекта — прямоугольная матрица принадлежности пикселя текущему объекту. Маски предсказываются для каждого класса с помощью классификации без наличия информации о том, что изображено в регионе, что выделяет отдельный классификатор на последнем уровне сети. Потребность предсказания маски обусловила несколько архитектурных изменений относительно Faster R-CNN: ключевым является использование RoIAlign вместо RoIPooling. RoIPooling хорошо подходит для масштабирования ограничивающих рамок, однако, для маски такой метод оказывается недостаточно точным. RoIAlign не использует округлений сдвигов для пулинга, а сохраняет значения с плавающей точкой, используя билинейную интерполяцию. Это обеспечило более точное выделение маски объекта.

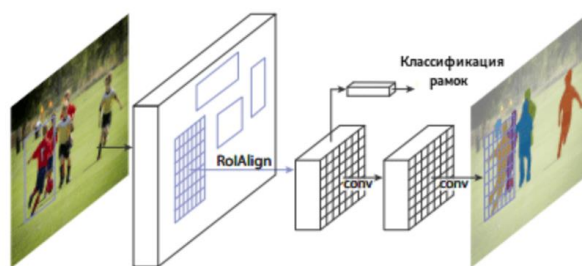


Рис. 6 – Схема работы Mask R-CNN

В статье «Использование нейронной сети Mask R-CNN для распознавания объектов» были приведены следующие показатели эффективности такой сети:

Результаты тестирования обученной модели		
Название класса	Точность, %	Ложные срабатывания
Автобусная остановка	81	0.8
Дорожные работы	61	5
Конус безопасности	74	12
Пешеходный переход	55	8
Велосипедная полоса	41	13
Дорожный перекрёсток	44	18
Предупреждение о дорожных работах	31	1
Пешеходы	66	42
Автомобили	67	72
Велосипеды	62	4

Рис. 7 – Результаты тестирования Mask R-CNN

Рассмотрим алгоритм YOLO, который подходит для работы в реальном времени, но имеет низкую точность на больших и маленьких объектах, средняя точность (mAP) — 63,4%.

Однако в модификации YOLOv2 точность достигает точности Faster R-CNN. Кроме того, существует Tiny YOLO версия, которая имеет меньшее количество слоев в нейросети, что позволяет использовать алгоритм на слабых устройствах с маленьким объемом памяти.

Так как в этом подходе нейронная сеть предсказывает обрамляющие окна (bounding boxes) и вероятности классов, применяясь к полному изображению – нейросеть «видит всю картину целиком». Это понимание контекста для объектов дает лучшие результаты при обработке картин, чем у других алгоритмов.

В таблице представлены показатели алгоритмов, обученных на наборах данных VOC 2007 и VOC 2012, тестируемых на наборе test VOC 2007.

Алгоритмы	Test	mAP	FPS
Faster R-CNN VGG-16	test VOC2007	73,2	7
YOLOv2 416×416	test VOC2007	76,8	59
YOLO	test VOC2007	63,4	45

Рис. 8 – Результаты тестирования

Для решения задачи распознавания СИЗ в настоящее время, чаще всего, применяется архитектура Faster R – CNN, а также ее различные модификации. По результатам анализа были найдены следующие показатели эффективности подобных систем:

Вариант	Precision (точность)	Recall (полнота)
«helmet» (каска)	0.93	0.95
«not_helmet» (нет каски)	0.924	0.905

Рис. 9 – Результаты на валидационной выборке

Варианты	Precision (точность)	Recall (полнота)
«jacket» (спецодежда)	0.968	0.991
«not_jacket» (нет спецодежды)	0.993	0.971

Рис. 10 – Результаты на валидационной выборке

Также в результате анализа опыта таких компаний были выделены следующие особенности реализации подобных систем:

- сложность классификатора должна соответствовать сложности задачи. Если классификатор будет слишком сложный, то он просто запомнит все ответы и не будет работать. Если он будет слишком простой – не сможет обучиться.

- следует учитывать не просто наличие СИЗ в кадре, а конкретное положение на работнике

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Girshick R. et al. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation //Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2014. – P. 580-587.
2. Girshick R. Fast r-cnn //Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. – 2015. – P. 1440-1448.
3. Ren S. et al. Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks //Advances in neural information processing systems. – 2015. – Vol. 28. – P. 91-99.
4. Dollar K. H. G. G. P., Girshick R. Mask r-cnn //2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). – 2017. – P. 2980-2988.
5. Shafiee M. J. et al. Fast YOLO: A fast you only look once system for real-time embedded object detection in video //arXiv preprint arXiv:1709.05943. – 2017.

УСТРОЙСТВО ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРСЫРЬЯ В ФИЛАМЕНТ ДЛЯ ПЕЧАТИ НА FDM 3D ПРИНТЕРЕ

Фирсов О.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
oleg.firsov.1997@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается вопрос переработки вторсырья в филамент для печати на 3D принтере.

Ключевые слова: FDM; 3D принтер; 3D печать; филамент; переработка; экструдер; вторсырье.

A DEVICE FOR RECYCLING RECYCLABLE MATERIALS INTO A FILAMENT FOR PRINTING ON AN FDM 3D PRINTER

Firsov O.A.

*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
oleg.firsov.1997@mail.ru*

Abstract. The article deals with the issue of recycling recyclable materials into a filament for printing on a 3D printer.

Keywords: FDM; 3D printer; 3D printing; filament; recycling; extruder; recyclables.

По данным компании Verified Market Research мировой рынок 3D-печати оценивался в 2017 году в 8,08 млрд долларов США с перспективой роста до 49,74 млрд к 2025 с совокупным среднегодовым темпом 25,5% в период 2018-2025 годов. Главными движущими силами глобального рынка аддитивного производства аналитики считают:

- выгоды новых моделей производства и управления логистикой
- растущий спрос на кастомизированные продукты
- сокращение производственных издержек

На сегодняшний день самыми популярным типом принтеров являются FDM принтеры [1]. В их основе лежит метод послойного наплавления пластика друг на друга. Такой принтер используется в тех случаях, когда предпочтение отдается размеру, скорости и дешевизне материала, нежели исходному качеству выходного продукта.

В связи с ростом популярности 3д печати, а также FDM принтеров встает вопрос об уменьшении производственных издержек.

Одним из минусов 3д печати является необходимость в большом ряде случаев использовать так называемые поддержки, из-за невозможности печатать в воздухе. Зачастую, поддержки требуют на свою реализацию большое количество пластика. Кроме того, часто при настройке параметров принтера, либо же смене пластика, необходимо печатать различные тестовые модели. Также на FDM – принтерах существует так называемая проблема первого слоя, из-за которого модель может отлипнуть от стола в процессе печати. Не следует исключать и возможность брака и по другим причинам.

В связи с этим остро встает вопрос – как же свести издержки по недоиспользованному пластику или браку к минимуму? В ответ на этот вопрос предлагается устройство, способное этот пластик в новый пруток филамента для вторичного использования.

Стоит также отметить, что помимо отходов производства человек в принципе производит довольно много пластиковых отходов. Многие из них также можно будет вторично переработать в нить филамента, пригодную для 3д печати.

Также такое устройство обеспечит возможность самостоятельно производить пластик из гранулированного сырья, что будет значительно дешевле готового филамента.

Практически все существующие решения имеют довольно высокую стоимость, так как не рассчитаны для индивидуального использования. Пластик полученный на таком экструдере будет иметь высокие показатели качества, но стоимость такого оборудования будет, зачастую, значительно выше стоимости 3д принтера. Стоимость таких экструдеров начинается от 1 миллиона рублей.

Одно из наиболее популярных готовых решений для переработки пластика в прутки, стоимостью 60т руб., принадлежит компании Wellzoom (рис1).



Рис. 1 – Экструдер компании Wellzoom

Однако, устройство для намотки филамента, в рамках данной конструкции, является отдельным устройством, чьи показатели регулирования не зависят напрямую от основного экструдера. Данное решение я считаю в корне неправильным, поскольку экструдер и устройство для намотки должны быть частью одной системы, для получения высоких показателей качества. Также есть жалобы на неравномерность подачи пластика на нагревательный элемент. Это может быть связано с плохими показателями качества регулирования двигателя подающего шнека. Для охлаждения в данном экструдере используется лишь вентилятор на выходе.

Второе решение достойное внимания, стоимостью 1200\$ принадлежит компании Noztec (рис2).



Рис. 2 – Экструдер компании Noztec

Данный экструдер довольно стабильно подает нить, а также позволяет разогреть нагревательный элемент до более высоких значений, нежели предыдущий вариант. Однако

такой экструдер совершенно не имеет намоточного и протяжного механизма, а также камеры охлаждения.

Третьим, наиболее технологически продвинутым решением, является экструдер Eho Extruder от компании компании еро3D, стоимостью 70 т. руб. (рис3).



Рис. 3 – Экструдер компании еро3D

Данное устройство имеет неплохие показатели качества выходного материала, по заверениям производителя, а также компактный размер за счет специальной конструкции, при которой пруток протягивается не прямо, а вниз. Также он имеет несколько секций охлаждающей камеры. Однако, это охлаждение является воздушным, к тому же, пруток проходит довольно большое расстояние от выхода из сопла до самой камеры, что сказывается на свойствах готового материала крайне негативно. Также воздушное охлаждение не позволяет добиться резкого снижения температуры прутка, а при недостаточно высоком темпе снижения температуры прутка, производимого из некоторых видов пластика (чаще всего это вторичный пластик), он может получиться довольно хрупким. Кроме того, данная компания не работает на российский рынок.

Предлагаемая технология лишена всех вышеперечисленных изъянов и имеет конструкции 4 адаптивных регулятора, автоматическую намотку готового продукта, защитный кожух и специальную камеру водного охлаждения, что позволяет получить пруток со стабильным диаметром и характеристиками, пригодными для 3д печати. Кроме того, данный экструдер имеет возможность предварительного дробления и сушки материала, в отличии от всех вышеперечисленных решений. Схема работы устройства представлена на рисунке 4:

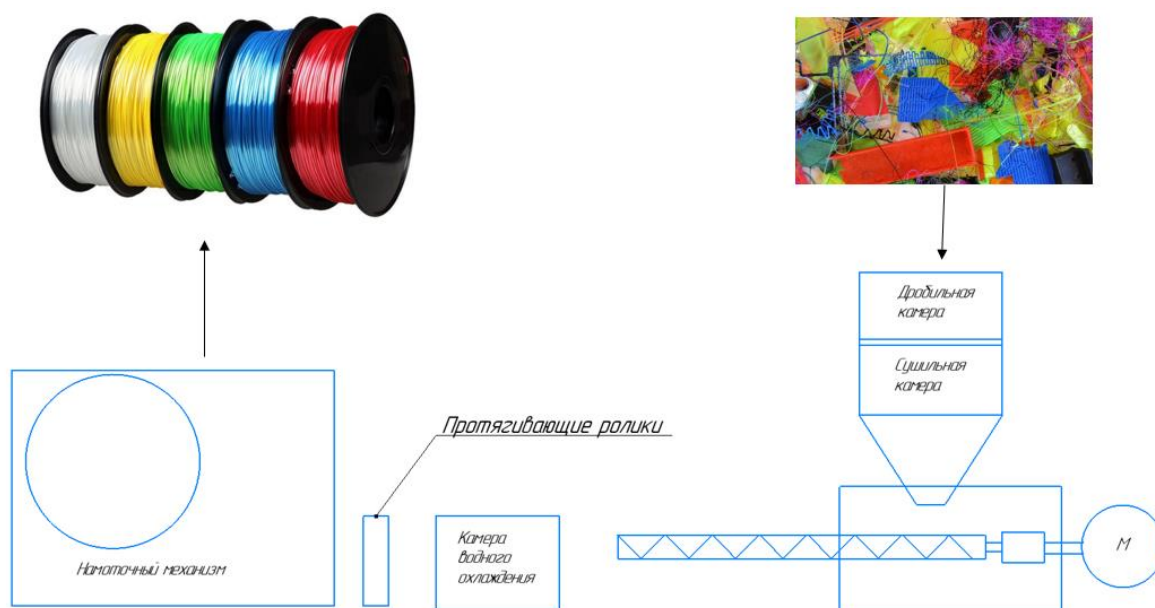


Рис. 4 – Схема работы устройства

В рамках реализации данной технологии предусмотрена специальная камера водного охлаждения (рис5), состоящая из двух емкостей с водой, а также насоса для циркуляции воды и поддержания ее на заданном уровне во второй емкости.

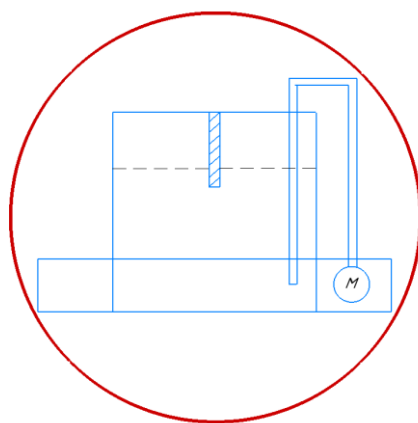


Рис. 5 – Камера водного охлаждения

Пруток, проходя через отверстие во второй емкости, охлаждается водой чтобы обеспечить постоянное поддержание воды на нужном уровне существует насос, который закачивает вытекающую воду из нижней емкости в верхнюю.

Второй отличительной особенностью является камера предварительного дробления. В качестве дробилки предполагается использовать двухвальный шредер. Также в конструкции будет предусмотрена камера для предварительной сушки пластика. Сушка будет выполняться

продувкой пластика горячим воздухом. Кроме того, предполагается использовать в конструкции 4 адаптивных регулятора, для компенсации всех нестационарностей, которые присущи данному техническому процессу.

Возможными потребителями могут выступать все, кто занимается печатью на FDM 3D принтере, а также те, кто хочет перерабатывать отработанный филамент, пластиковые отходы, либо же гранулированный пластик в коммерческих целях. Однако предполагается, что основной рынок будут составлять представители малого и среднего бизнеса, которые занимаются 3Д печатью на заказ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dudek P. FDM 3D printing technology in manufacturing composite elements //Archives of metallurgy and materials. – 2013. – Т. 58. – №. 4. – С. 1415--1418.

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ТЕПЛИЦЫ

Хархота Н. В., Федотова И.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Оскольский политехнический колледж,
город Старый Оскол
nwaxrxta@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы моделирование автоматической системы управления технологическими параметрами в теплице. Рассмотрены современные средства автоматизации, которые позволяют контролировать температуру и влажность воздуха, а так же при необходимости изменять параметры в дистанционном режиме, тем самым поддерживать микроклимат в теплице.

Ключевые слова: систем автоматизации теплиц; средства автоматизации; микроклимат теплицы; технологические параметры; датчики мониторинга теплицы; средства автоматического контроля; датчик температуры.

DEVELOPMENT AND MODELING OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF GREENHOUSE MICROCLIMATE

Kharkhota N.V., Fedotova I.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", Oskol Polytechnical College,
town of Stary Oskol
nwaxrxta@yandex.ru*

Abstract. In the article the questions of modeling of automatic control system of technological parameters in a greenhouse are considered. Considered modern means of automation, which will allow you to control the temperature and humidity, as well as, if necessary, change the parameters remotely, thereby maintain the microclimate in the greenhouse.

Keywords: greenhouse automation systems; automation means; microclimate of the greenhouse; process parameters; greenhouse monitoring sensors; automatic control means; temperature sensor.

Теплица – это сооружение, имеющее светопропускающие стены и кровлю и предназначенное для выращивания различных растений в весенне-осенний период, когда погодные условия не позволяют снимать несколько урожаев за один год. В настоящее время существуют самые разные виды теплиц. По своей форме они бывают большими и маленькими, квадратными, прямоугольными, одно- или двухскатными и т. д. Промышленные теплицы играют очень важную роль в сельскохозяйственной промышленности, благодаря им люди могут круглый год употреблять в пищу богатые витаминами овощи. [3]

Задачи исследования:

- анализ существующих систем автоматизации теплиц;
- изучить характеристику и принцип работы технических;
- проанализировать существующий уровень автоматизации;
- выявить недостатки существующей системы управления микроклиматом теплицы.

Объектом исследования является теплица.

Предмет исследования автоматизированная система управления микроклиматом теплицы.

Известно, что рост и развитие растений напрямую зависят от условий внешней среды: количества света, тепла, качества воздуха, воды, питательных веществ и других факторов. Автоматизированное управление технологическими параметрами в теплице позволяет контролировать микроклимат: температуру и влажность воздуха, концентрацию углекислого газа, влажность и уровень pH почвы, освещение, а также дистанционно управлять режимами работы теплицы. Система автоматизированного контроля микроклимата может включать автоматический полив, систему подкормки углекислым газом, обогрев, вентиляцию и др. Сегодня АСУ ТП теплицы широко применяется на территориях частного земельного участка и фермерских хозяйствах для поддержания требуемых температурно-влажностных условий в теплицах, парниках и оранжереях. [3]

В состав АСУ ТП теплицы входят:

- автоматические регуляторы, термостаты для поддержания оптимальной температуры;
- датчики мониторинга для контроля показателей температуры, уровня CO₂, влажности;
- средства автоматического контроля для измерения контролируемых параметров;
- сигнализаторы для информирования о достижении заданных предельных значений;
- блоки питания, коммутирующее и защитное оборудование, органы ручного управления;
- инженерные системы: надпочвенный обогрев; электродосвечивание; система полива;
- шкаф комплектной автоматики, вентиляционное оборудование, вспомогательные компоненты и др. [2]

Автоматизации процесса выращивания тепличной продукции обеспечивает полноценные условия для развития и роста растений. Для промышленного производства овощей, цветов и ягод применение аппаратно-программного комплекса автоматизированного управления технологическими параметрами теплиц означает получение высокой урожайности при малых затратах и низкой себестоимости продукции. Преимущества АСУ ТП теплиц оценили агрономы, технологи, фермеры и садоводы, поскольку автоматизированное управление технологическим процессом позволяет повысить показатели роста тепличной продукции и урожайности. С помощью интеллектуальной автоматизированной системы возможно круглосуточно контролировать параметры в теплице и при необходимости изменять их в дистанционном режиме.

Получение высоких результатов при выращивании овощей, цветов, рассады в теплицах напрямую зависит от качества обеспечения растений оптимальными условиями роста и развития. И одним из важнейших таких является четко сбалансированный микроклимат. Еще несколько лет назад управление микроклиматом могло осуществляться вручную оператором, но с появлением большого количества инженерных систем в теплице, а также с повышением требований к качеству поддержания микроклимата, на сегодняшний день, ни одна промышленная теплица не обходится без системы автоматического управления.

Современная теплица включает в себя множество исполнительных инженерных систем, то есть устройств, которые позволяют управлять микроклиматом теплицы:

- система отопления. Основная задача системы отопления — это поддержание заданной агрономом температуры. Как правило, отопление теплицы состоит из нескольких отдельных контуров (систем). Регулирование температуры воздуха осуществляется с помощью изменения температуры воды в контурах, что осуществляется с помощью смесительного клапана, который смешивает в необходимой пропорции воду от теплоисточника (прямой теплоноситель) с водой, вернувшейся из теплицы (обратным теплоносителем);

- система форточной вентиляции. Для вентилирования воздуха внутри теплицы в кровле предусматриваются фрамуги(форточки), площадь которых составляет до 30% от общей площади остекления. Открытие и закрытие форточек производится с помощью моторизированных редукторов;

- система зашторивания. Практически все новые проекты теплиц комплектуются системой зашторивания, т.к. она позволяет экономить до 30% теплоресурсов, а также защитить растения от солнечных ожогов. Принцип ее работы заключается в том, что специальный полимерный материал сворачивается и разворачивается над растениями, отсекая тем самым кровлю. Сворачивание и разворачивание производится с помощью специальных мотор-редукторов;

- система подкормки CO₂. Важнейшим параметром микроклимата наряду с температурой и влажностью является концентрация углекислого газа в воздухе. Это связано с тем, что углерод является основным строительным материалом для растения и процесс фотосинтеза (производства сухого вещества) без CO₂ невозможен. Наиболее экономичным решением является использование отходящих газов котельной для подкормки, и на большинстве тепличных комбинатах так и происходит. Но в некоторых случаях приходится прибегать к использованию жидкой углекислоты для подкормки, что является более дорогим решением;

- система досвечивания. Современная интенсивная технология выращивания овощей предусматривает установку системы ассимиляционного освещения. А для выращивания цветов система досвечивания вообще является необходимым условием. Основная задача системы обеспечить определенный уровень освещенности для выращивания в те моменты, когда естественного света недостаточно. Уровни дополнительного освещения колеблется в диапазонах от 120Вт/м² до 250Вт/м²;

- система рециркуляции воздуха. Для обеспечения воздухообмена в теплице в верхней ее части устанавливаются вентиляторы. При включении они обеспечивают движение воздуха, выравнивание теплового поля и ускоряют конвективный теплообмен;

- автоматическая система управления микроклиматом. Она предназначена для связи всех вышеперечисленных систем в единое целое, в единый процесс с централизованным управлением. Системы отопления и вентиляции, зашторивания и досвечивания, CO₂ и рециркуляция все работает под управлением специального компьютера, который отвечает за то, чтобы режим микроклимата в теплице точно совпадал с заданием агронома. [1]

Для модернизации автоматической теплицы предлагается:

- разработать систему управления поддержанием необходимого соотношения «газ-воздух»;

- подсистему сбора информации о температуре наружного воздуха, температуре теплоносителя, давления газа и воздуха;

- заменить морально и физически устаревшие технические средства автоматизации.

Для решения поставленных задач необходимо:

- выбрать датчики температуры;

- выдрать датчики уровня сигнализации уровней электропроводных жидкостей;

- выбор контроллера ОВЕН ПЛК110[M02].

Моделирование автоматической системы управления технологическими параметрами в теплице позволяет контролировать температуру и влажность воздуха, а так же при

необходимости изменять параметры в дистанционном режиме, тем самым поддерживать микроклимат в теплице.

Таким образом, внедрение разработки позволит решить следующие задачи:

- повысить качество протекания технологического процесса;
- заметно сократить аварийные ситуации;
- экономить ресурсы производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородин И.Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления: учебник для СПО/ И.Ф. Бородин, С.А. Андреев. - 2 -е изд., испр. и доп.. - М.: Издательство Юрайт, 2019. -386с.
2. Кудинов, В.А. Техническая термодинамика и теплопередача: Учебник для бакалавров / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, Е.В. Стефанюк.. - Москва: Юрайт, 2015. - 566 с.
3. Оснащение тепличных конструкций [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://parnikiteplisy.ru/ustrojstvo/avtomatizaciya.html>

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ ПОДАЧИ СМЕСИ В КРИСТАЛЛИЗАТОР МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Утямишев Д.М.

Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС», 462359, Россия, г. Новотроицк, ул. Фрунзе, д.8, E-mail: danil-utyamishev@mail.ru, +7(953)453-91-89

Аннотация. В данной статье была исследована система автоматической подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок. Представлена установка, которая реализует подачу шлакообразующей смеси (ШОС). Разработана SCADA-система, позволяющая осуществлять контроль над эксплуатацией системы. Разработана имитационная модель электропривода шнекового дозатора, базирующая на управлении двигателем по активной составляющей тока статора. Описана необходимость использования шлакообразующей смеси в процессе получения стали. Внедрение данного устройства уменьшит количество брака продукции, а также позволит сократить расход ШОС.

Ключевые слова: электропривод; кристаллизатор; шлакообразующая смесь; шнек; SCADA-система.

INVESTIGATION OF THE AUTOMATED ELECTRIC DRIVE OF THE MIXTURE FEEDING UNIT INTO THE MOLD OF THE CONTINUOUS CASTING MACHINE

Utyamishev D.M.

Novotroitskiy branch of NUST MISIS, 462359, Russia, Novotroitsk, Frunze str., 8, E-mail: danil-utyamishev@mail.ru, +7(953)453-91-89

Abstract. In this article, the system of automatic feeding of the slag-forming mixture into the mold of a continuous casting machine was studied. An installation that implements the supply of a slag-forming mixture (SCO) is presented. A SCADA system has been developed that allows monitoring the operation of the system. A simulation model of an electric drive of a screw dispenser is developed, which is based on motor control based on the active component of the stator current. The necessity of using a slag-forming mixture in the process of steel production is described. The introduction of this device will reduce the number of product defects, as well as reduce the cost of SCO.

Keywords: electric drive; crystallizer; slag-forming mixture; screw; SCADA system.

Введение

Сталеплавильное производство занимает важное место в мире. Вся сталь разливается на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), которых существует более 500 видов с общим числом ручьёв около 750. В настоящее время точность дозирования в автоматизированных системах является главным требованием производительности и экономичности [1]. Она зависит от большого числа систематических и случайных факторов: величины, формы и взаимного расположения отдельных частиц материала; конструктивными элементами дозатора и т.д. [2-4].

Задача – повышение эффективности управления автоматизированным электротехническим комплексом дозирования сыпучих материалов, так как ее решение позволит существенно увеличить его производительность и снизить неправильную дозировку дорогостоящих компонентов.

Цель – повышение эффективности управления автоматической системы подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

Достигнуть эту цель предлагается, разработав алгоритм функционирования автоматической системы подачи шлакообразующей смеси и исследовав работу электропривода шнекового дозатора на основе предложенного алгоритма работы [5-6].

На МНЛЗ №2, расположенной в электросталеплавильном цеху (ЭСПЦ) АО "Уральская Сталь" (г. Новотроицк, Оренбургская область) осуществляется разливка слябов сечением 190×1200 мм и 270×1200 мм [11]. С целью модернизации устройства предлагается механизм подачи ШОС в кристаллизатор МНЛЗ (рис. 1)

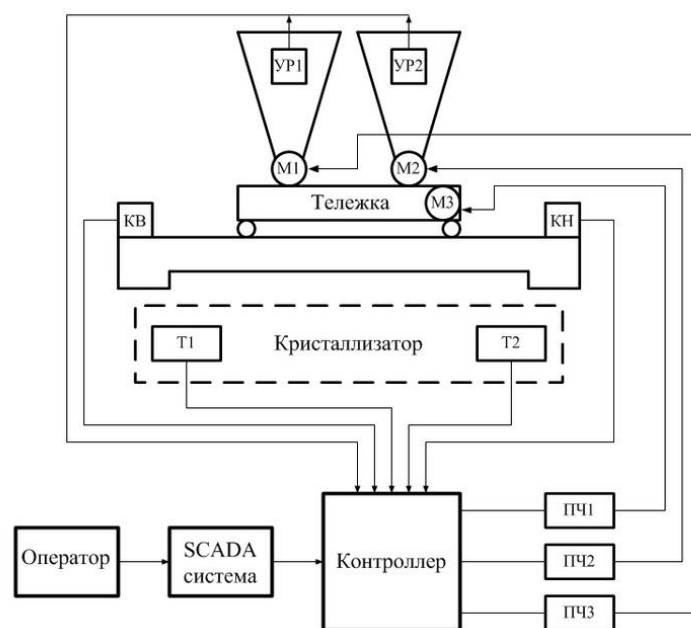


Рис. 1 – Функциональная схема системы автоматической подачи ШОС в кристаллизатор МНЛЗ

Данное устройство функционирует на основе разработанного алгоритма (рис. 2).

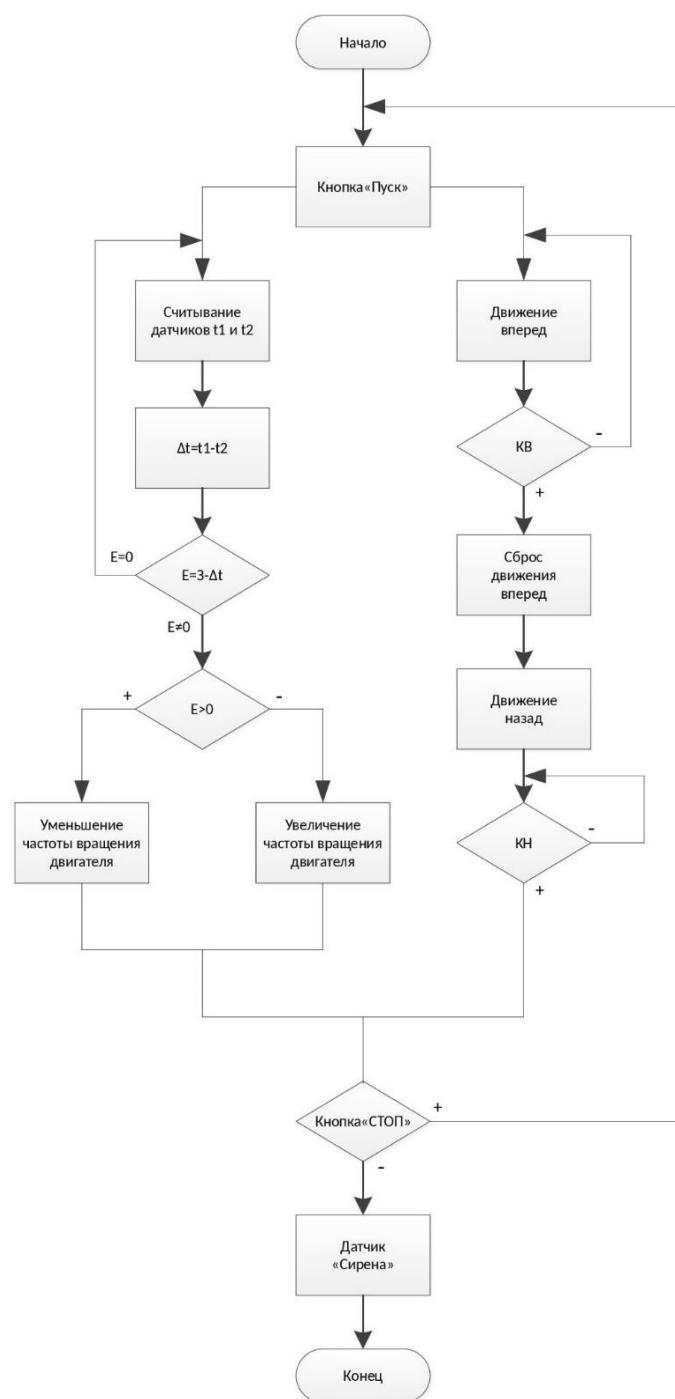


Рис. 2 – Алгоритм работы автоматической системы подачи ШОС

Модель электропривода перемещения тележки установки подачи ШОС

Процесс перемещения тележки контролируется концевыми датчиками, обозначенными на схеме «КВ» и «КН». Процесс перемещения в автоматическом режиме прекращается только в случае опустошения бункера со шлакообразующей смесью. Работа объекта может быть остановлена при нажатии на кнопку «STOP», после чего сработает индикатор «Siren».

Получить качественный металл возможно за счёт поддержания толщины слоя шлака на оптимальном уровне. Поддерживать толщину слоя шлака возможно за счёт разности

температур стали и шлака [7-8]. Это объясняется тем, что теплопередача через слой шлака выполняется на основе закона Фурье, т.е. на величину разности температур оказывает влияние только толщина слоя шлака и его теплопроводность. Рост разности температур является признаком увеличения толщины слоя шлака, что приводит к необходимости уменьшения расхода смеси, а вместе с тем и скорости вращения шнекового дозатора [9]. Исходя из последнего, одним из критериев оптимальности работы предлагаемой системы является расход смеси, который определяет правильность протекания процесса, и себестоимость полученной стали.

Так же на рисунке 3 представлена имитационная модель электромеханической системы дозирования шлакообразующей смеси, управляемая по расходу смеси. Данная схема собрана и исследована в программе Matlab Simulink [10-11].

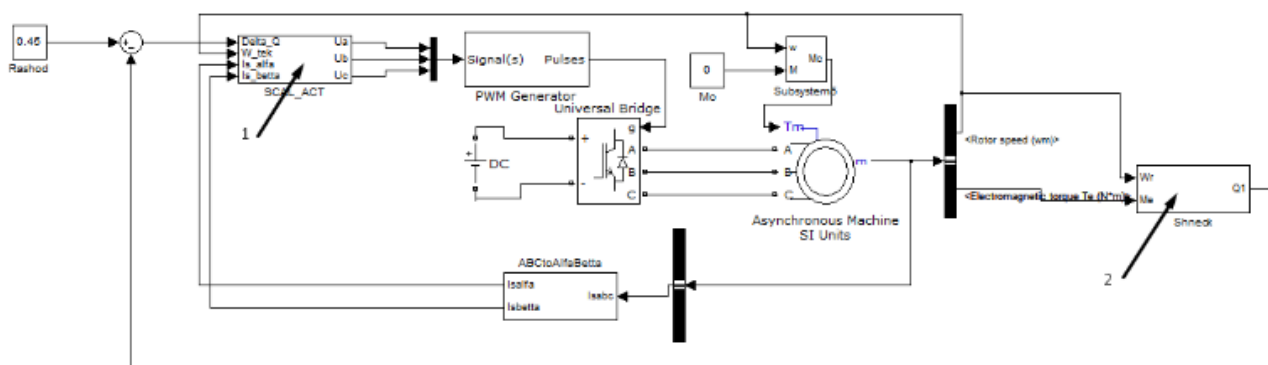


Рис. 3 – Имитационная модель электромеханической системы дозирования шлакообразующей смеси: 1 – подсистема формирования фазных напряжений; 2 – подсистема шнекового дозатора

Заключение

Автоматизированное устройство подачи ШОС на технологической линии МНЛЗ-2 электроплавильного цеха АО «Уральская Сталь» уменьшит количество брака продукции на 3%, а также позволит сократить расход ШОС на 6%. В ходе проведения экономических расчетов установлено, что при внедрении предложенной системы произойдет уменьшение себестоимости стали на 8,35 руб. Величины чистой приведенной стоимости ($NPV=233,3$ тыс.руб.) и индекса рентабельности инвестиций ($PI=1,31$) позволяют сделать вывод о прибыльности проекта. Срок окупаемости разработанного решения составит 11 месяцев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сивак Б.А. Актуальные направления и задачи развития металлургического машиностроения России / Б.А. Сивак, А.В. Наливайко // Вестник ЮНИДО в России. – 2014. – №13. – с.33-36. Смирнов А.Н. Непрерывная разливка стали: Учебник / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, Е.В. Штепан. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.
2. Вдовин К.Н. Непрерывная разливка стали: монография / К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, И.М. Ячиков. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск.гос. техн. ун-та, 2012. – 540 с.
3. Бровман М.Я. Кристаллизаторы установок непрерывного литья металлов / М.Я. Бровман. – М.: Теплотехник, 2011. – 432 с.
4. Пат. 1294463 СССР, МПК В 22 D 11/06. Способ регулирования подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок и устройство для его осуществления / Н.И. Шестаков, В.М. Паршин, Е.А. Нечаев, Ю.И. Жаворонков, А.П. Щеголев, А.Г. Лунев; заявитель Череповецкий металлургический комбинат им. 50-летия СССР. № 3928255/22-02; заявл. 12.07.1985; опубл. 07.03.1987, Бюл. № 9.
5. Смирнов А.Н., Куберский С.В., Штепан Е.В. Непрерывная разливка стали: Учебник. Донецк: ДонНТУ, 2011. 482 с.
6. Ряхов А.А. Разработка ресурсосберегающей шлакообразующей смеси для кристаллизаторов слабовых машин непрерывного литья заготовок: дис.канд.техн.наук.: 05.16.02 / Ряхов Алексей Анатольевич. – Магнитогорск., 2019. – 143 с.
7. Ляпушкин С.В. Повышение эффективности управления электроприводом автоматизированного комплекса дозирования сыпучих материалов дис.канд.техн.наук.: 05.09.03 / Ляпушкин Сергей Викторович – Томск., 2015. 146 с.
8. Baskov S.N., Litsin K.V. Determination of the angular position of the rotor of a synchronous motor by connecting a high-frequency signal in the excitation winding (2015). International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 - Proceedings 2015. pp. 101 - 104.
9. Baskov, S.N., Litsin, K.V., Utyamishev, D.M. Search for more efficient automatic feed of the mold flux to the continuous casting machine crystallizer. Proceedings - 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2021this link is disabled, 2021, стр. 619–623.
10. Лицин К.В., Утямишев Д. М. Повышение эффективности управления автоматической системы подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок // Известия Тульского государственного университета. Технические науки Издательство: Тульский государственный университет (Тула), 2020. № 10. С. 306-312.

11. Лицин К. В., Утямишев Д. М. Бездатчиковый электропривод системы подачи смеси в кристаллизатор установки непрерывной разливки стали / Изд. АО Издательский дом «Руда и Металлы», 2021. №3. С. 16–21.

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СОРТИРОВКИ ДЕТАЛЕЙ ПО ЦВЕТУ

Горюнова М. В., Федотова И.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Оскольский политехнический колледж,
город Старый Оскол
gorunova.m@mail.ru, ira9909@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы моделирования автоматической системы сортировки деталей по цвету. Рассмотрены современные средства автоматизации, которые позволяют не только определять цвет детали, но и проводить подсчет по цвету.

Ключевые слова: система автоматики; аппаратная и программная автоматизация; разработка автоматов; сборка автомата; датчики определения цвета; функциональная схема; программа системы сортировки деталей; 3D-печатные объекты.

DEVELOPMENT AND MODELING OF AN AUTOMATIC COLOR SORTING SYSTEM

Goryunova M.V., Fedotova I.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", Oskol Polytechnical College,
town of Stary Oskol
gorunova.m@mail.ru, ira9909@yandex.ru*

Abstract. The article discusses the issues of an automatic system modeling for sorting parts by color. The modern automation tools are considered, which allow not only to determine the part color, but also to carry out the calculation by color.

Keywords: automatic system, hardware and software automation; automatic development; automatic assembling; color definition sensors; functional diagram; program of a system for sorting parts; 3D printed objects.

Система автоматической сортировка деталей по цвету предназначена для сортировки деталей по цвету. На разработку системы были поставлены следующие задачи:

1) проанализировать существующие конструкции, которые применяются в массовом производстве для сортировки деталей на различные группы или для разбраковки на пригодные детали и брак;

2) разработать и рассчитать автоматическую систему сортировки деталей по цвету;

3) произвести монтаж элементов системы автоматической сортировки деталей по цвету.

Система состоит из приёмника деталей, блока анализа цвета и распределительного механизма с вращающейся направляющей трубой, по которой детали подаются в ёмкости. В каждой ёмкости оказываются детали одного цвета.

Управляет всем этим микроконтроллер ATmega328P. В состав устройства входит:

1) датчик цвета с ИК-фильтром TCS34725,

2) 2 сервопривода SG90,

3) детали, спроектированные и распечатанные на 3D принтере.

Микроконтроллер ATmega328P является 8-ми разрядным CMOS микроконтроллером с низким энергопотреблением, основанным на усовершенствованной AVR RISC архитектуре. ATmega328P – микроконтроллер семейства AVR, как и все остальные имеет 8-битный процессор и позволяет выполнять большинство команд за один такт.

Характеристики микроконтроллера ATmega328P:

– тактовая частота: 0 – 20 МГц;

– объём Flash-памяти: 32 кб;

– объём SRAM-памяти: 2 кб;

– объём EEPROM-памяти: 1 кб;

– напряжение питания: 1,8 – 5,5 В;

– потребляемый ток в режиме работы: 0,2 мА (1 МГц, 1,8 В);

– потребляемый ток в режиме сна: 0,75 мкА (1 МГц, 1,8 В);

– количество таймеров/счётчиков: 2 восьмибитных, 1 шестнадцатититный;

– общее количество портов: 23;

– количество ШИМ (PWM) выходов: 6;

– количество каналов АЦП (аналоговые входы): 6;

– количество аппаратных USART (Serial): 1;

– количество аппаратных SPI: 1 Master/Slave;

– количество аппаратных I2C/SPI: 1;

– разрешение АЦП: 10 бит.

В основе датчика цвета лежит микросхема AMS TCS34725, которая содержит 12 светочувствительных элементов. Часть из них оснащена цветными фильтрами для измерения

красной, зелёной и синей составляющей, а остальные определяют общий уровень освещённости. Каждая группа фотоэлементов подключена к своему АЦП, который выдаёт 16-битный сигнал, пропорциональный интенсивности падающего света. Готовые результаты измерений передаются по интерфейсу I²C.

На модуле предусмотрен белый светодиод, который подсвечивает предметы. Встроенный ИК-фильтр отсекает лишний невидимый спектр и повышает чувствительность датчика.

Характеристики датчика цвета TCS34725:

- напряжение питания модуля: 3.3 - 5В;
- потребляемый ток: 235 мкА (сред.), 330 мкА (макс.);
- время преобразований: от 2.4 мс до 700 мс (настраиваемое);
- скорость интерфейса I²C: до 400 кбит/с;
- адрес датчика на шине I²C: 0x29 (41);
- рабочая температура: -40 ... +85 оС.

Сервопривод SG-90 – аналоговый серводвигатель, который используется для управления небольшими легкими механизмами, угол поворота которых ограничен диапазоном от 0 до 180 градусов.

Характеристики сервопривода SG-90:

- напряжение: 3.5-8.4 В;
- максимальный угол поворота: 180 градусов;
- скорость поворота (4.8 В, без нагрузки): 0.12 сек (60 градусов);
- момент вращения (4.8В): 1.6 кг*см;
- рабочая температура: -30 ... +60 оС.

Детали через воронку для подачи попадают по пластиковой трубе в специальное колесо, спроектированное так, чтобы в него помещалась только одна деталь. После попадания детали в ячейку, она подсвечивается белым светодиодом, и RGB-датчик снимает 3 цветовых профиля под разными углами. После чего профили сравниваются с заранее запрограммированными (должно совпасть 2 из 3-х). После этого колесо поворачивается, и деталь попадает на распределительный механизм (направляющую трубу), который уже повернулся к нужной ёмкости.

Скетч автоматической сортировки деталей по цвету написан с помощью программы Arduino IDE (Integrated Development Environment) на основе языка программирования C.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация процессов сортировки деталей [Электронный ресурс]: https://revolution.allbest.ru/manufacture/00377962_0.html
2. Интернет-магазин Arduino [Электронный ресурс]: <https://iarduino.ru/shop/>
3. Российское Ардуино-сообщество [Электронный ресурс]: <https://arduinomaster.ru/>

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ОТОПЛЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Горюнова М.В., Федотова И.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Оскольский политехнический колледж,
город СтарыйОскол
gorunova.m@mail.ru, ira9909@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы моделирования системы автоматизации отопления, вентиляции и кондиционирования жилого здания. Принцип системы интеллектуального управления зданием предполагает совершенно новый подход в организации жизнеобеспечения строения, в котором за счет комплекса программно-аппаратных средств значительно возрастает эффективность функционирования и надежность управления всех систем и исполнительных устройств здания.

Ключевые слова: моделирование автоматизированной системы управления; жилое здание; вычисления; комплекс программных и аппаратных средств; охрана труда; эффективность функционирования.

DEVELOPMENT AND INSTALLATION OF HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING AND LIGHTING AUTOMATION SYSTEM FOR A RESIDENTIAL BUILDING

Goryunova M.V., Fedotova I.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", Oskol Polytechnical College,
town of Stary Oskol
gorunova.m@mail.ru, ira9909@yandex.ru*

Abstract. The article discusses the issues the automation system modeling for heating, ventilation and air conditioning of a residential building. The principle of an intelligent building control system assumes a completely new approach in organizing the life support of a building, in which, due to a complex of software and hardware, the efficiency of functioning and reliability of all systems control and building significantly actuators increases.

Keywords: automated control system modelling; residential building; calculations; complex of software and hardware; labor protection; operational efficiency.

Жилое здание состоит из некоторого набора подсистем, отвечающих за выполнение определенных функций, которые решают различные задачи в процессе функционирования этого здания. По мере усложнения этих подсистем и увеличения количества, выполняемых ими функций, управление ими становилось все сложнее. Также стремительно растут расходы на содержание обслуживающего персонала, ремонт и обслуживание этих подсистем.

Актуальность проекта обусловлена высоким потенциалом развития систем «Умного дома», пониманием принципа работы подобных технологий и реально получаемой экономической выгоды. Эта система относится к новым современным технологиям, отличающимся своими качествами.

Целью является разработка и моделирование системы автоматизации отопления, вентиляции, кондиционирования и освещения жилого здания (жилого дома).

Задачи:

- дать общие сведения о системах автоматизации жилого здания;
- дать характеристику устройств для автоматического управления;
- дать общие сведения о системах отопления, вентиляции, кондиционирования и освещения в жилом здании;
- дать определение устройству и принципу работы автоматизации жилого здания;

Объектом является жилое здание. Предметом является автоматизированная система отопления, вентиляции, кондиционирования и освещения.

Умный дом - это комплекс технологий и систем, которые позволяют сделать жилище более комфортным, безопасным и улучшить энергосбережение. Модульность позволяет подбирать компоненты автоматизации индивидуально для каждого объекта и достигать 100% использования всех функций.

Автоматизация дома влечёт за собой такие удобства как:

1. Комфорт - одним касанием можно приглушить свет, послушать музыку, увеличить температуру воздуха.
2. Экономия - контроль потребления электроэнергии, воды и газа, программирование работы электрооборудования по заданному графику в различных зонах.
3. Безопасность - техническая сигнализация, заблокировать двери, включение охранной сигнализации, видеонаблюдение, удаленный контроль.

Для автоматического управления используют, различные датчики такие как: движения, температуры, влажности, освещения, газа и многие другие.

Так же у датчиков есть варианты установки, которые в свою очередь тоже делятся на:

1. Проводная

Суть проводной системы «умный дом» заключается в том, что все управляющие устройства - датчики, выключатели, устройства управления климатом, разнообразные управляющие панели связываются единой проводной информационной шиной, по которой идут сигналы- телеграммы к исполнительным устройствам, расположенным в щите (в основном). В качестве проводной информационной шины используются специальные кабели, а в отдельных случаях обычная витая пара.

2. Беспроводные системы автоматизации

В беспроводных системах автоматизации, в отличие от проводных, сигнал от управляющих устройств к исполнительным идет по радиоканалу, а не по проводам, что позволяет сократить количество проводов, а также время на установку системы. Эти системы можно монтировать на объекты с готовым ремонтом с классической проводкой. Каждый беспроводной «выключатель» является еще и радиопередатчиком, который связывается со всеми остальными «выключателями», в результате можно создавать различные сценарии работы системы перепрограммировать функционал клавиш.

3. Централизованные системы автоматизации

Суть централизованного умного дома заключается в том, что программирование идет от одного центрального логического модуля. Обычно это свободно программируемый контроллер с большим количеством выходов. В контроллер заливается заранее специально созданная под объект программа, на основе которой идет управление исполнительными устройствами и инженерными системами. Это позволяет использовать широкий выбор оборудования и сложных сценариев. Централизованные системы могут как проводными так и беспроводными

4. Децентрализованные системы автоматизации

В распределенных системах "Умного дома" каждое исполнительное устройство несет в себе микропроцессор с энергонезависимой памятью. Этим объясняется надежность таких систем. При выходе из строя одного устройства вся система работает исправно, кроме приборов подключенных к этому устройству.

Основная цель отопления - создание теплового комфорта в помещениях (тепловых условий, благоприятных для жизни и деятельности человека), который в холодное время года обеспечивается при условии, что поддерживается определенная температура воздуха в помещении, температура внутренней поверхности наружных ограждений и поверхности отопительных установок.

Вентиляция - естественный или искусственный регулируемый воздухообмен в помещениях, обеспечивающий создание в помещении воздушной среды в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями.

Кондиционирование микроклимата зданий и сооружений является одним из основных разделов строительной науки и техники. Система кондиционирования микроклимата (СКМ) как совокупность всех инженерных средств и устройств, обеспечивающих внутренние климатические условия, включает в себя наряду с ограждениями, системами отопления и вентиляции систему кондиционирования воздуха (СКВ).

Освещение - важнейший фактор создания нормальных условий труда и жизнедеятельности, имеющий большое значение, около 90% всей получаемой информации воспринимается с помощью зрения.

Набор функций современной автоматики очень широк. Помимо непосредственного поддержания необходимой температуры и воздухообмена, автоматика регулирует влажность, поддерживает заданные параметры качества воздуха, следит за энергосбережением, контролирует исправность вентиляционного оборудования. Автоматика выполняет свои функции совместно с подключаемыми к щиту датчиками и исполнительными устройствами.

1. Основные функции отопления

- компенсировать все тепло потери для поддержания оптимальной температуры.
- настройка параметров температуры для отдельных участков жилого здания

2. Основные функции автоматики для вентиляции:

- поддержание требуемой температуры приточного воздуха и температуры в помещении;
- дистанционное включение/выключение системы вентиляции;
- управление работой и производительностью вентиляторов;
- контроль состояния теплообменных агрегатов;
- контроль уровня загрязнения фильтров;
- автоматический переход в режим зима/лето;
- контроль и управление роторными и пластинчатыми рекуператорами, тепловыми насосами, увлажнителями и осушителями;
- управление циркуляционным насосом водяного калорифера с учетом показаний датчиков наружной температуры и давления теплоносителя с защитой от сухого хода;
- управление приводом заслонки наружного воздуха;
- контроль работы приточного вентилятора;
- отключение вентиляционной установки по сигналу пожарной сигнализации.

3. Общее освещение в основном служит для ориентации в пространстве. Когда света солнца, идущего из окон, становится недостаточно и наступают сумерки, электрический свет должен стать его заменой.

Таким образом, принцип системы интеллектуального управления зданием это комплекс программно-аппаратных средств, которые повышают эффективность функционирования и надежность управления всех систем и исполнительных устройств здания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 34.601-90. Автоматизированные системы. Стадии создания. М: Стандартинформ, 2009. 11 с. (Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы)
2. Андреев С.М. Разработка и моделирование несложных систем автоматизации учетом специфики технологических процессов: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования/ С.М. Андреев, Б.Н. Парсункин. - М.: Издательский центр «Академия», 2018. – 208 с.
3. Иванов А.А. Основы робототехники: учебное пособие/ А.А.Иванов. – 2-е изд., испр. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 223с.5. Конова Е.А., Поллак Г.А. Алгоритмы и программы. Язык C++: Учебное пособие. – 4-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 384с.
4. Котов К.И., Шершевер М.А. Средства измерения, контроля и автоматизации технологических процессов. Вычислительная и микропроцессорная техника. / К.И. Котов, М.А Шершевер. - М.: Металлургия, 2016. - 213 с.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПАЛЛЕТАЙЗЕРА В УСЛОВИЯХ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Цуканов А.В., Лицин К.В.

*Новотроицкий филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», ул. Фрунзе, 8,
Новотроицк, Оренбургская обл., 462359
k.litsin@rambler.ru, 03-06-2000@mail.ru*

Аннотация. *Выполнена модернизация основного привода паллетайзера. Выбрана двухдвигательная система управления электропривода, приведены преимущества применения данной системы. Исследованы различные способы синхронизации двух двигателей. Рассмотрена конфигурация «ведущий-ведомый».*

Ключевые слова: электродвигатель; паллетайзер; двухдвигательная система; электропривод; конфигурация «ведущий-ведомый».

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED ELECTRIC DRIVE OF IN CONDITIONS OF CEMENT PRODUCTION

Tsukanov A.V., Litsin K.V.

*Novotroitsky Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS", Frunze str., 8, Novotroitsk, Orenburg region, 462359
k.litsin@rambler.ru, 03-06-2000@mail.ru*

Annotation. *The main drive of the palletizer was modernized. A two-motor control system of the electric drive is selected, the advantages of using this system are given. Various methods of synchronization of two motors are investigated. The "master-slave" configuration is considered.*

Keywords: electric motor; palletizer; two-engine system; electric drive; «master-slave» configuration.

Паллетайзер - это оборудование, которое формирует ряд или слой коробов (спаек, мешков, бутылок), который затем укладываются на поддон. В технологической цепочке паллетайзер является частью завершающих линий автоматизированной упаковки. Объем выпускаемой продукции напрямую зависит от производительности данного агрегата [1].

Цель статьи – разработать автоматизированный электропривод паллетайзера в условиях цементного производства.

Кинематическая схема основного привода паллетайзера представлена на рисунке 1.

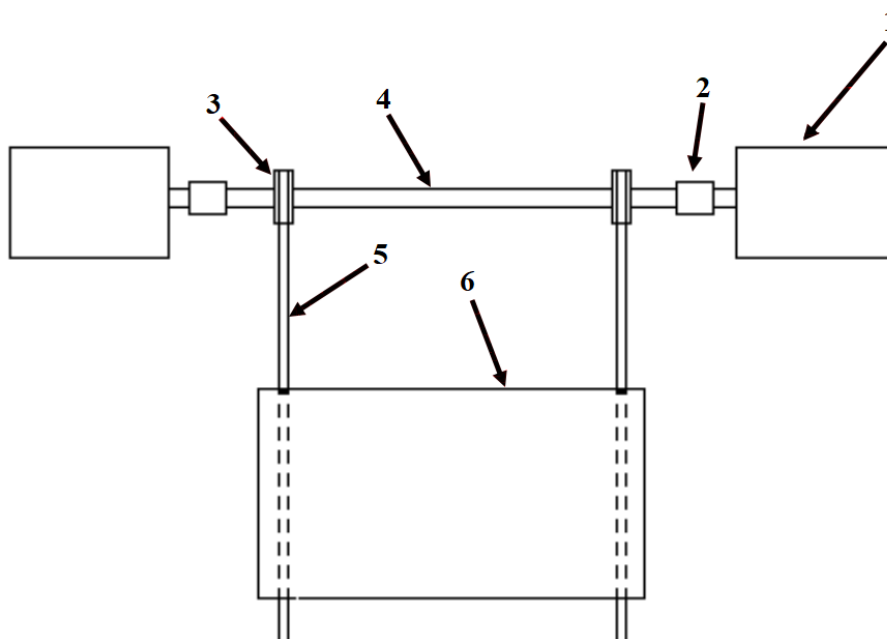


Рис. 1 – Кинематическая схема основного привода паллетайзера
1 – мотор-редуктор; 2 – подшипник; 3 – шкиф; 4 – основной вал;
5 – канат; 6 – противовес

Выбрана двухдвигательная система управления электропривода. Отличительная особенность данной системы от однодвигательного заключается в передачи силового потока к ведомому звену от нескольких двигателей, а не от одного [1-2]. За счет этого многодвигательный электропривод имеет ряд преимуществ. Во-первых, такие системы обладают обширными возможностями в регулировании скорости и момента. Во-вторых, позволяют снизить суммарный момент инерции по сравнению с однодвигательной системой электропривода. В-третьих, применение такой системы позволяет создать мощную установку при установке двигателей относительно невысокой мощности [3-5].

Синхронизация электродвигателей реализована путем применения конфигурацию «ведущий-ведомый» (рисунок 2). В отличие от других способов, данная конфигурация характеризуется высоким быстродействием и точным выравниванием нагрузки, кроме того, такая система полностью настраиваемая [6-7].

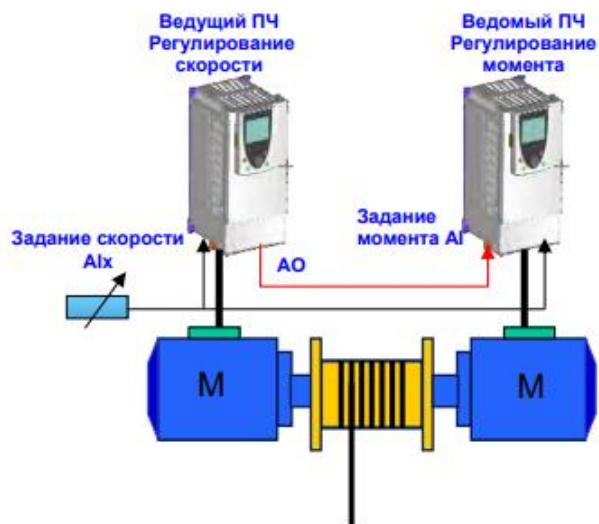


Рис. 2 – Конфигурация «ведущий-ведомый»

Вывод

Применяемая система проста в реализации и поддерживается большинством производителей оборудования, поэтому внедрение такой системы увеличит надежность электропривода и принесет экономическую выгоду. Точность поддержания распределения токов между электродвигателями при использовании системы выравнивания нагрузок в двухдвигательной системе увеличится на 15-17%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лицин, К. В. Разработка автоматизированного электропривода резьбонакатного станка / К. В. Лицин, А. В. Цуканов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2020. – № 9. – С. 74-79.
2. Лицин, К.В., Цуканов А.В. Реконструкция многодвигательного электропривода тянуще-правильной машины // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 4. – С. 214-219.
3. Винокуров, С. А. Разработка и исследование двухдвигательной системы электропривода с бесконтактными двигателями постоянного тока для транспортного робота / С. А. Винокуров // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – Т. 5. – № 3. – С. 96-99.
4. Litsin K.V. Automated electric drive for the control system of two-coordinate welding machine / K.V. Litsin, A.V. Tsukanov // Izvestiya Ferrous Metallurgythis link is disabled. – 2021. – Т. 64. – № 5. – Р. 382-388.

5. Вестхюз, Р. Разработки в области технологии паллетирования // Цемент и его применение. – 2015. – № 4. – С. 64-67. - Текст: непосредственный.
6. Теличко, Л. Я. Разработка и исследование оптимальной системы двухдвигательного электропривода механизма опрокидывания / Л. Я. Теличко, А. А. Корчагин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – Т. 6. – № 2. – С. 21-24.
7. Белов, Г. А. Моделирование параллельной системы питания, построенной по методу "ведущий - ведомый" / Г. А. Белов, И. В. Волков // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции, Чебоксары, 09–10 июня 2011 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, 2011. – С. 91-101.

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЫТАЛКИВАТЕЛЯ КОКСОВЫТАЛКИВАТЕЛЯ

Шахновский А.Н., Белых Д.В.

*Новотроицкий филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», ул. Фрунзе, 8,
Новотроицк, Оренбургская обл., 462359
+79058433144
alex-shax9@mail.ru, belykh.work@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматривается коксовыталкиватель, составляется модель процесса работы электропривода механизма выталкевателя в программе MATLAB.

Ключевые слова: коксовыталкиватель; электропривод; моделирование; MATLAB.

STUDY OF AUTOMATION AND CONTROL BY THE EXAMPLE OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE COKE PUSHER

Shakhnovsky A.N., Belykh D.V.

*Novotroitsky Branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS", Frunze str., 8, Novotroitsk, Orenburg region, 462359
alex-shax9@mail.ru, belykh.work@yandex.ru*

Abstract. The article discusses the coke pusher, a model of the process of operation of the electric drive of the ejector mechanism in the MATLAB program is compiled.

Keywords: coke pusher; electric drive; modeling; MATLAB.

Коксохимическая промышленность – отрасль черной металлургии, занимающаяся переработкой каменного угля методом коксования. Получаемый каменноугольный кокс используется в металлургии в качестве топлива в доменных и литейных цехах. Процесс коксования проводят в коксовых печах. Коксующиеся угли засыпают в печь и нагревают их без доступа воздуха до 900-1500 градусов. После окончания процесса (17-20 часов) коксования кокс выталкивают в вагон и тушат водой или азотом.

Выталкивание кокса происходит коксовыталкивателем. Он является важнейшей машиной коксового цеха. При помощи коксовыталкивателя производятся следующие операции:

- выталкивание готового коксового пирога из коксовой печи;
- съем и установка печных дверей с машинной стороны батареи;
- открывание планирной дверцы в печных дверях и установка ее на место;
- планирование угля, загружаемого в печь, и собирание выгребаемого при этом излишка;

- передвижение самого коксовыталкивателя вдоль фронта батареи.

В качестве системы управления устройства выталкивания применяются релейно-контакторные схемы. В качестве системы электропривода была выбрана система преобразователь частоты – асинхронный двигатель (далее АД).

Преобразователь частоты – это преобразовательное устройство, используемое для управления скоростью вращения асинхронных электрических двигателей; состоит из схем. В основе управляющей части находится микропроцессор, который обеспечивает управление силовыми электронными ключами, а также решение большого количества вспомогательных задач (контроль, диагностика, защита).

К плюсам частотных преобразователей относят:

- высокая точность регулирования;
- плавный пуск электродвигателя, что значительно уменьшает его износ;
- равный максимальный пусковой момент;
- стабилизация скорости вращения при изменении нагрузки;
- управляемое торможение и автоматический перезапуск.

Целью работы является:

- смоделировать процесс работы электропривода механизма перемещения металлургического крана;

- получить тахограмму и нагрузочную диаграмму работы агрегата;
- достичь времени переходного значения около 8500 с;
- достичь значения перерегулирования менее 3%;

добиться соответствия внешнего вида переходных процессов.

В ходе исследования технологического процесса, работы устройства выталкивания, была получена его тахограмма и нагрузочная диаграмма.

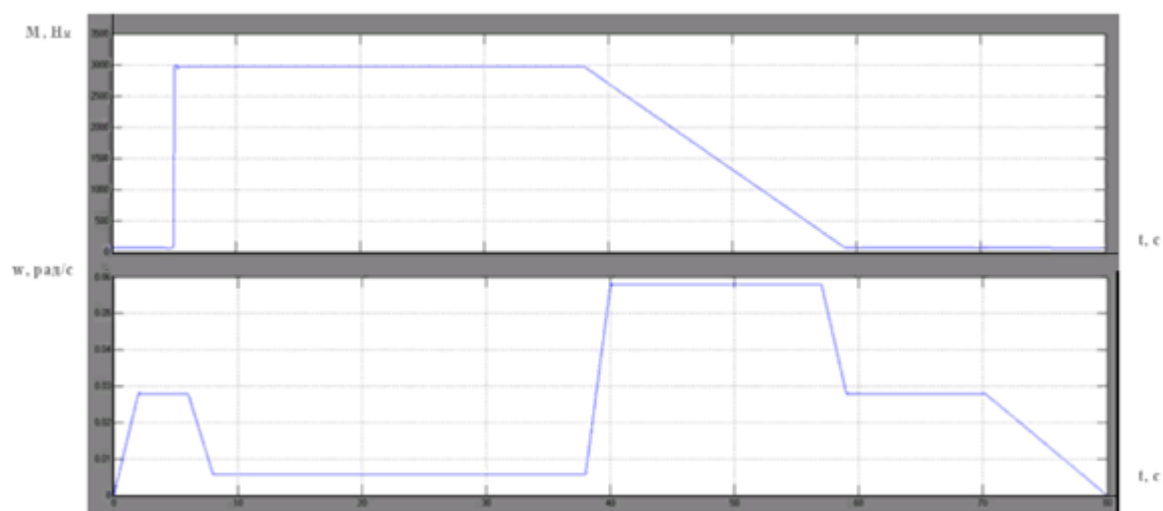


Рис. 3 – Нагрузочная диаграмма и тахограмма устройства выталкивания

Таким образом, была получена модель процесса работы электропривода. В ходе анализа были получены следующие данные:

- система структурирована, т.к. все ее части связаны между собой и взаимодействуют;
- система устойчива, т.к. способна возвращаться в исходное равновесие после исчезновения внешних нагрузок;
- перерегулирование составляет менее 3 %, что говорит о монотонности переходных процессов;
- время переходного процесса составляет около 8500 с, что соответствует заданию;
- внешний вид переходных процессов соответствует заданным тахограмме и нагрузочной диаграмме, это говорит о том система правильно отрабатывает задание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.А. Андреев. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. Москва: Издательство ВШК, 2006. 639 с.
2. Белых Д.В., Лицин К.В. Внедрение частотного привода в механизм перемещения крана-перегрузателя // Энергетика. Проблемы и перспективы развития. Изд-во: Тамбовский государственный технический университет (Тамбов), 2019. С. 82–84.
3. Перегрузатели – Рабочие характеристики URL: - <https://promplace.ru/peregruzhateli-rabochie-harakteristiki-i-konstrukciya-474.htm> (Дата посещения: 05.12.2021)
4. Конструкция и принципы работы стрелковых кранов URL: - <https://carsfarm.ru/strojtehnika/strelovye-samohodnye-kran-y.html> (Дата посещения: 05.12.2021)

УДК 681.5

ПОСТРОЕНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯМИ КВАДРОКОПТЕРА ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ СОГЛАСОВАННЫХ С УПРАВЛЕНИЕМ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Блинов М.А., Глущенко А.И.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
blinoff31rus@vk.com*

***Аннотация.** В статье рассматривается построение адаптивной системы управления двигателями квадрокоптера для компенсации согласованных с управлением возмущающих воздействий.*

Ключевые слова: квадрокоптер; моделирование; система управления.

CONSTRUCTION OF AN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR QUADROCOPTER ENGINES TO COMPENSATE FOR DISTURBANCES COORDINATED WITH THE CONTROL

Blinov M.A., Glushenko A.I.

*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
blinoff31rus@vk.com*

***Abstract.** The article deals with the construction of an adaptive control system for quadcopter engines to compensate for the disturbances coordinated with the control.*

Keywords: quadcopter; simulation; control system.

К современным автономным робототехническим системам предъявляются высокие требования при выполнении технологических задач в условиях частичной и полной неопределённости внешней среды. В связи с особенностями конструкции квадрокоптера, основными его недостатками являются сложность в управлении и подверженность влиянию внешних возмущений, таких как порывы ветра и, исходящие от пропеллеров, потоки воздуха

вблизи поверхности. При этом квадрокоптер является сложным, многосвязным техническим устройством, обладающим немоделируемой динамикой [3,4]. Поэтому решение задачи адаптивного или оптимального управления квадрокоптером является актуальной и с научной, и практической точек зрения.

Препятствием к широкому практическому применению оптимальных алгоритмов управления является то, что они рассчитаны на знание нелинейных математических моделей объектов с точностью до постоянных параметров. Но построить точную модель квадрокоптера достаточно сложно, да и такая постановка вступает в противоречие с самим фактом неопределенности значений параметров объекта [20].

В работах [5-18] описываются и рассматриваются различные способы, методы и подходы к решению задачи управления квадрокоптером: адаптивные регуляторы [6], методы «бэкстеппинга» [7], последовательный компенсатор [10], нечеткая логика [13], нейронные сети [18] и т.п. Все они основаны на различных структурах регулятора. Но их можно обобщить и выделить три основных направления, в которых ведутся исследования:

1. самым распространенным и универсальным способом является применение ПИД-регулятора и его разновидностей;
2. методы интеллектуального управления;
3. гибридные методы интеллектуального управления, представляющие собой смесь 1 и 2 пункта.

Каждый из таких подходов обладает своими преимуществами и недостатками, которые будут описаны подробнее в дальнейшем. При этом алгоритм управления во всех них основан на одном принципе: горизонтальная тяга, которая приводит к смене направления полета, может быть получена только при наклоне корпуса аппарата. В данной работе, как и в ранее упомянутых, далее также не будут учитываться другие конструкции, например, как в статье, где используется управления динамикой с поворотными роторами [12].

Таким образом, выбранное направление исследований является актуальным.

Типичным представителем своего класса является квадрокоптер Parrot Mambo (рисунок 1), который является минидроном. Он разработан в рамках проекта Parrot Education компанией Parrot для учебных заведений. Главной особенностью является то, что он обладает возможностью взаимодействовать с программой Matlab, а в качестве платформы для написания кода используется Simulink. Реализована эта возможность через специальный программный пакет Simulink Support Package for Parrot Minidrones. Связь оператора с квадрокоптером реализуется по беспроводной сети Bluetooth [19].



Рис. 1 – Внешний вид квадрокоптера Mambo Parrot

В общем и целом, такие свойства дают возможность проектировать, реализовывать и апробировать на реальном hardware любые структуры и алгоритмы работы регуляторов для управления полетом. Этой особенностью и предлагается воспользоваться в данном исследовании. Так как Parrot предоставляет среду моделирования и визуализации, то можно сначала проводить моделирование работы тестируемых методов управления без опасения повредить дрон и сэкономить время. А в случае получения положительных результатов – протестировать на реальном устройстве.

Основные конструктивные элементы данного дрона: рама, защитный корпус, блок управления, аккумулятор, двигатели, пропеллеры. Он обладает 6 степенями свободы и 4 исполнительными механизмами (4 вентильных двигателя).

В качестве датчиков, определяющих параметры и положение дрона в пространстве, используются: ультразвуковой датчик – для определения вертикального расстояния над поверхностью; камера низкого разрешения – для оценки горизонтального движения и линейной скорости перемещения; датчик атмосферного давления – для оценки высоты над уровнем моря, что позволяет косвенно судить о значении и скорости изменения высоты; блок измерения инерции: включает в себя 3-х осевой гироскоп и 3-х осевой акселерометр. Позволяет оценить ориентацию летательного аппарата, линейный и угловой векторы положения тела, то есть определяет угловые ускорение и скорость.

В качестве физических характеристик выступают: масса – предполагается, что все тело работает как материальная точка; двигатели – расположены в определенной конфигурации, имеют конкретную позицию и направление вращения; система координат, жестко связанная с корпусом аппарата – ее начало совпадает с центром масс (рисунок 2), а оси связаны с главными центральными осями инерции корпуса.

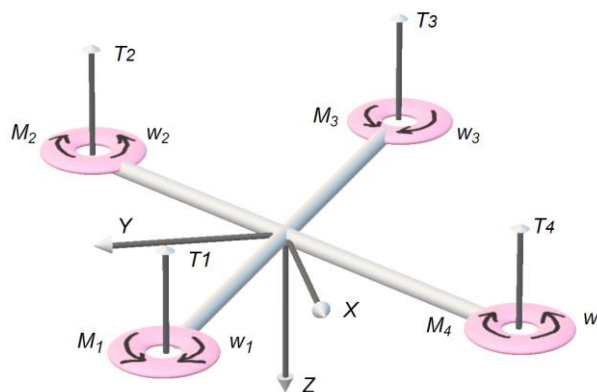


Рис. 2 – Схематичное изображение квадрокоптера и системы координат

Квадрокоптер имеет 6 степеней свободы: три относятся к поступательному движению, а оставшиеся 3 – к вращательному. А регулировать можно четыре величины - скорости вращения двигателей. Вращение пропеллеров строго определено – направление каждой пары двигателей является противоположным по отношению к другой паре, что позволяет независимо изменять параметры маневрирования: тяги, крена, тангажа и рыскания. Двигатели расположены в X-конфигурации.

Алгоритм работы с программой выглядят следующим образом – рисунок 3. Он состоит из нескольких этапов. После изменения модели Simulink блок компилируется на языке C++, а затем загружается в память квадрокоптера.

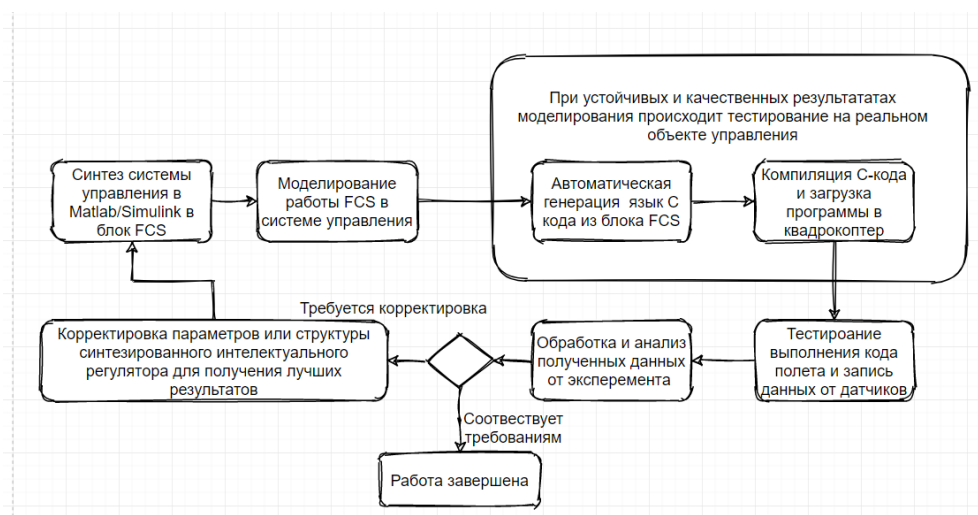


Рис. 3 – Этапы работы с пакетом Simulink Support Package for Parrot Minidrones

Главным элементом, относительно которого будут выполняться исследования, является регулятор кода полета – рисунок 4.

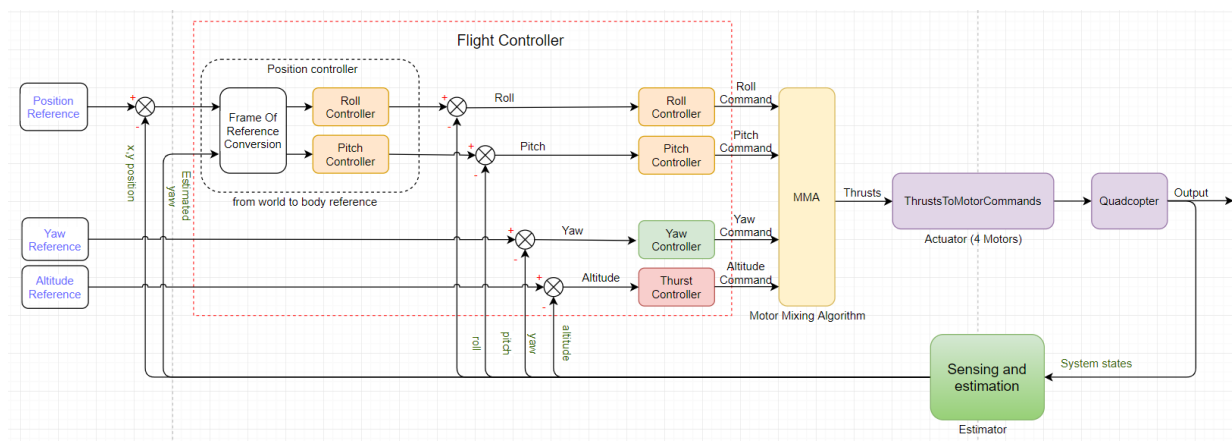


Рис. 4 – Структура регулятора кода полета

В качестве исполнительных механизмов выступают четыре двигателя, которые создают крутящий момент и тягу. Входными данными исполнительных механизмов являются команды на двигатели, представляющие собой смесь выходов регуляторов тангажа, рыскания, крена и тяги по определенному алгоритму. Он называется алгоритм смешенного управления двигателями – Motor Mixing Algorithm (MMA). В целом, квадрокоптер представляет собой нестабильную динамическую систему, которая в силу нелинейности математической модели должна быть стабилизирована указанными четырьмя регуляторами. При выборе их структуры и расчете параметров необходимо учитывать наличие немоделируемой динамики в коптере, нестационарность его параметров и наличие возмущающих воздействий. Имея такую базу как Parrot Mambo и Matlab, в качестве перспективной задачи магистерской работы предлагается реализация известных методов стабилизирующего управления двигателями квадрокоптера для компенсации согласованных с управлением возмущающих воздействий, сравнение их эффективности, а также разработка предложений по совершенствованию указанных алгоритмов. То есть задачей новой системы управления будет обеспечение более высокого качества управления в сравнении с другими методами в условиях разнонаправленных порывов ветра и изменения массы объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gauthier Rousseau. Optimal trajectory planning and predictive control for inematographic flight plans with quadrotors. Automatic. Université Paris-Saclay, 2019. English. NNT: 2019SACLC086.
2. Liew, C. F., DeLatte, D., Takeishi, N., and Yairi, T. (2017). Recent developments in aerial robotics: A survey and prototypes overview. arXiv preprint arXiv:1711.10085.
3. Michael D. S. Simulation and control of a quadrotor unmanned aerial vehicle. URL: uknowledge.uky.edu/gradschool_theses/93 (handling date 10.10.2021).

4. Astha Sharma, Amol Barve. Controlling of Quad-rotor UAV Using PID Controller and Fuzzy Logic Controller. International Journal of Electrical, Electronics and Computer Engineering. 2012. № 2277-2626. pp. 38-42.
5. Н. Д. Поляхов, В. В. Путов, В. Н. Шелудько. Адаптивное управление роботизированными подвижными объектами / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина). Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2016. Вып. №5. С. 61-77.
6. Андриевский Б. Р., Фрадков А. Л. Адаптивное управление летательным аппаратом с идентификацией на скользящих режимах // Управление большими системами / Институт проблем управления РАН (ИПУ РАН). М., 2009. Вып. 26. С. 113–144.
7. Гэн К.1, Чулин Н. А. Алгоритмы стабилизации для автоматического управления траекторным движением квадрокоптера. Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 05. С. 218–235.
8. Ю.С. Белинская, В.Н. Четвериков. Управление четырехвинтовым вертолетом. Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 05. С. 157-171.
9. Гурьянов А. Е. Моделирование управления квадрокоптером. Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. науч.-тех. журн. 2014. С. 157-171.
10. Петраневский И.В., Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А. Управление квадрокоптером с компенсацией ветровых возмущений // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Том 15. № 6. С. 1045–1053.
11. Канатников А.Н., Акопян К.Р. Управление плоским движением квадрокоптера // Математика и математическое моделирование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. электрон. журн. 2015. №2. С. 23-36.
12. Шавин М.Ю. Управляемая динамика квадрокоптера с поворотными роторами. Инженерный журнал: наука и инновации, 2018, вып. 4.
13. Д.А. Белоглазов, И.С. Коберси, Е.Ю. Косенко. Анализ особенностей практического использования регуляторов систем автоматического управления квадрокоптерами // Инженерный вестник Дона, №3 (2015).
14. Чжо Мьят Ту Моделирование системы автоматического управления квадрокоптером на основе ЛП адаптивного управления // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №6 (2017).
16. К. Е. Шилов. Разработка системы автоматического управления беспилотным летательным аппаратом мультироторного типа / Московский физико-технический институт (государственный университет) / ТРУДЫ МФТИ. — 2014. — Том 6, № 4.

17. Белявский А.О., Томашевич С.И. Синтез адаптивной системы управления квадрокоптером методом пассивации / ФГБУН Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург.

18. Ющенко А.С., Лебедев К.Р.1, Забихафар С.Х. Система управления квадрокоптером на основе адаптивной нейронной сети. Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2017. № 07. С. 262–277.

19. Quadcopter Project for Matlab/Simulink, Parrot Mambo. URL: (handling date 10.10.2021). https://ww2.mathworks.cn/help/aeroblks/quadcopterproject.html?s_eid=PSM_15028#d123e153918

20. В. В. Путов, В. В. Лебедев, А. В. Путов. Адаптивные системы управления многостепенными жесткими нелинейными механическими объектами, построенные по их упрощенным моделям с мажорирующими функциями // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» № 10/2013.

СИСТЕМА ПЧ-АДК В РЕЖИМЕ U/F-ЕСО ДЛЯ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОСТА МОСТОВОГО КРАНА

Гамбург К.С., Мякотина М.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
kgsam@mail.ru, maiyamyakotina@eandex.ru*

Аннотация. В статье рассматривается возможность применения системы ПЧ-АДК в режиме U/f-ЕСО для механизма перемещения моста мостового крана.

Ключевые слова: асинхронный короткозамкнутый электродвигатель; преобразователь частоты; мостовой кран; скалярное управление; разомкнутая система.

DRIVE SYSTEM IN U / F-ECO MODE FOR THE MECHANISM FOR MOVING THE BRIDGE OF AN OVERHEAD CRANE

Gamburg K.C. Myakotina M.V.

*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
kgsam@mail.ru, maiyamyakotina@eandex.ru*

Abstract. The article discusses the possibility of using the drive system in the U / f-ECO mode for the mechanism for moving the bridge of an overhead crane.

Keywords: asynchronous squirrel-cage motor; frequency converter; bridge crane; scalar control; open-loop system.

Применение системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (ПЧ-АДК) для электроприводов мостовых кранов, установленных в цехах с повышенной температурой окружающей среды, позволяет:

- до 40 процентов снизить энергопотребление привода крана;
- осуществлять разгон и торможение двигателя плавно, по линейному закону от времени, при варьировании временем разгона и временем торможения от долей секунды;

- повысить комфортные показатели при движении крана и долговечность механического оборудования благодаря плавности переходных процессов;
- защитить двигатель от перегрузок по току, перегрева, утечек на землю и от обрывов в цепях питания двигателей;
- снизить эксплуатационные расходы на капитальный ремонт оборудования за счет значительного снижения динамических нагрузок в элементах кинематической цепи;
- изменять скорости и ускорения движения механизмов крана применительно к конкретным технологическим задачам.

Эффективность и экономичность таких электроприводов в значительной степени зависят от правильности выбора номинальных параметров силовой части, т.е. двигателя и преобразователя частоты, и способа управления.

Рассмотрим применение частотно-регулируемого привода для одного из механизмов крана – механизма перемещения моста.

В данном случае электропривод работает в неустановившемся режиме, а механизм имеет большую массу и высокую скорость движения. Известно, что при таких данных момент инерции двигателя $J_{\partial в}$ обычно меньше, чем приведенный к его валу момент инерции механизма J_M . Получив оценку J_{Σ} , получили возможность рассчитать приближенную нагрузочную диаграмму двигателя. Был выбран двигатель фирмы Siemens 1LA7 134 - 6PM и частотный преобразователь SINAMICS G120.

SINAMICS G120 - модульная приводная система, состоящая из двух функциональных блоков:

- управляющий модуль (CU);
- силовой модуль (PM).

Управляющий модуль управляет и контролирует силовой модуль и подключенный двигатель с несколькими типами регулирования по выбору. Он поддерживает связь с локальной или центральной системой управления, а также с устройствами контроля.

Для надежного и гибкого режима управления используется самая современная технология IGBT с широтно-импульсной модуляцией. Защитные функции обеспечивают надежную защиту для силового модуля и двигателя.

Преобразователь частоты повышенной безопасности SINAMICS G120 обеспечивает 5 функций безопасности, сертифицированных по EN 954-1, категория 3 и IEC 61508 SIL 2, а также ISO 13849-1 PLD:

- безопасно отключенный момент (STO, Safe Torque Off) для защиты от активного движения привода;

- безопасный останов 1 (SS1, Safe Stop 1) для непрерывного контроля безопасной ramпы торможения;

- безопасно ограниченная скорость (SLS, Safely Limited Speed) для защиты от опасных движений при превышении предельной скорости;

- безопасное направление вращения (SDI). Функция позволяет приводу вращаться только в выбранном направлении;

- безопасный контроль скорости (SSM). Функция выводит сообщение при падении скорости привода ниже специфицированной частоты вращения/скорости подачи.

Интегрированные технологии позволяют оптимизировать энергопотребление установки для каждого конкретного приложения:

- энергоэффективное векторное управление;

- встроенный калькулятор энергосбережения.

- автоматическое уменьшение потока в режиме U/f-ECO;

В статье рассматривается система ПЧ-АДК в режиме U/f-ECO для механизма перемещения моста мостового крана.

Выбор способа и принципа управления определяется совокупностью статических, динамических и энергетических требований к асинхронному электроприводу.

Скалярный принцип частотного управления является наиболее распространенным в асинхронном электроприводе. Ему свойственна техническая простота измерения и регулирования переменных АД, а также возможность построения разомкнутых систем управления скоростью.

Основной недостаток подобного принципа управления заключается в трудности реализации желаемых законов регулирования скорости и момента АД в динамических режимах. Связано это с весьма сложными электромагнитными процессами, протекающими в АД.

Скалярное частотно-токовое управление АД характеризуется малым критическим скольжением и постоянством критического момента при постоянстве питающего АД тока и изменении его частоты. Однако в разомкнутых системах подобное управление практически исключено, поскольку с увеличением нагрузки (скольжения) резко падает магнитный поток АД и для обеспечения желаемых перегрузочных способностей АД по моменту требуется заметное превышение номинальных значений напряжения питания и тока статора.

Различные законы частотного управления опираются на уравнения установившихся режимов. Следовательно, привод в этом случае имеет невысокие динамические показатели. При частотном управлении в приводе, как правило, предусмотрен один внутренний настраиваемый регулятор скорости. Приводы с частотным управлением обычно имеют

встроенные функции: переключаемые законы управления, задатчик интенсивности, ограничение тока, вычисление температуры двигателя (по значению измеренного тока и частоты), исключение из рабочих режимов резонансных и ряда других частот.

В серийно выпускаемых приводах применяются следующие законы частотного управления:

$$\left. \begin{aligned} U &= Kf, \\ U &= Kf^2, \\ U &= U_0 + Kf, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где K – коэффициент, f – относительное значение частоты, U_0 – напряжение IR -компенсации.

IR -компенсация позволяет получить дополнительное увеличение момента на низких скоростях, при этом не требуется измерять активное сопротивление статора. Обычно применяют увеличение напряжения на заданное значение при нулевом значении частоты, что поясняется рис.1.

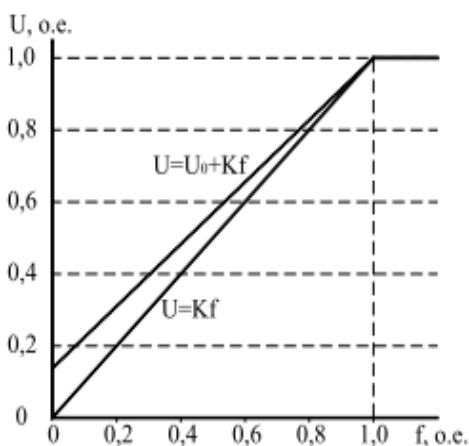


Рис. 1 – Изменение напряжения двигателя при простом частотном управлении и при использовании IR -компенсации.

В выбранном преобразователе частоты SINAMICS G120 реализованы несколько разновидностей скалярного управления.

Выбираем скалярное регулирование с постоянным увеличением напряжения, при этом увеличение напряжения влияет по всему диапазону частот, причем значение непрерывно уменьшается по мере повышения частоты.

В предлагаемой системе ПЧ-АД дискретного скалярного управления (рис.2) скорость двигателя регулируется в разомкнутом контуре.

Блок-регулятор напряжения в звене постоянного тока содержит ПИ-регулятор и гистерезисную логику прерывателя.

В блоке управления реализован закон частотного управления

$$U/f = const \quad (2)$$

Результаты имитационного моделирования в среде MatLab/Simulink дискретной системы ПЧ-АД механизма перемещения моста (рис.2) показывают, что такая система, простая в наладке и эксплуатации, позволяет выполнять все требования, предъявленные к приводу механизма перемещения моста.

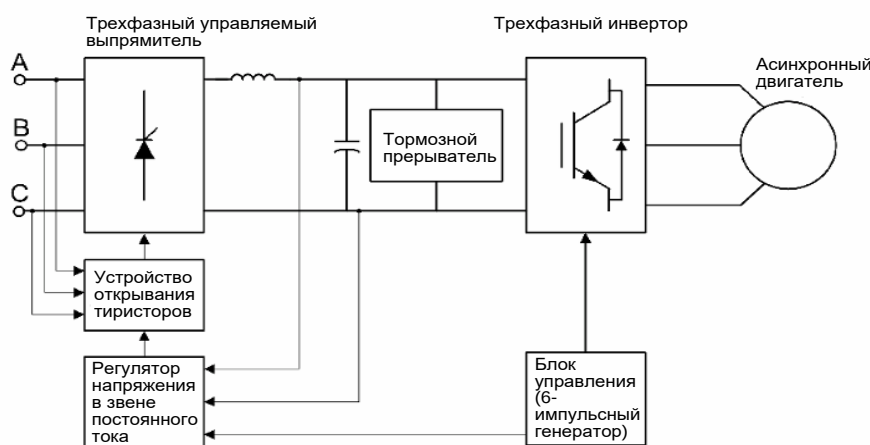


Рис. 1 – Функциональная схема дискретного скалярного управления ПЧ-АД механизма перемещения моста

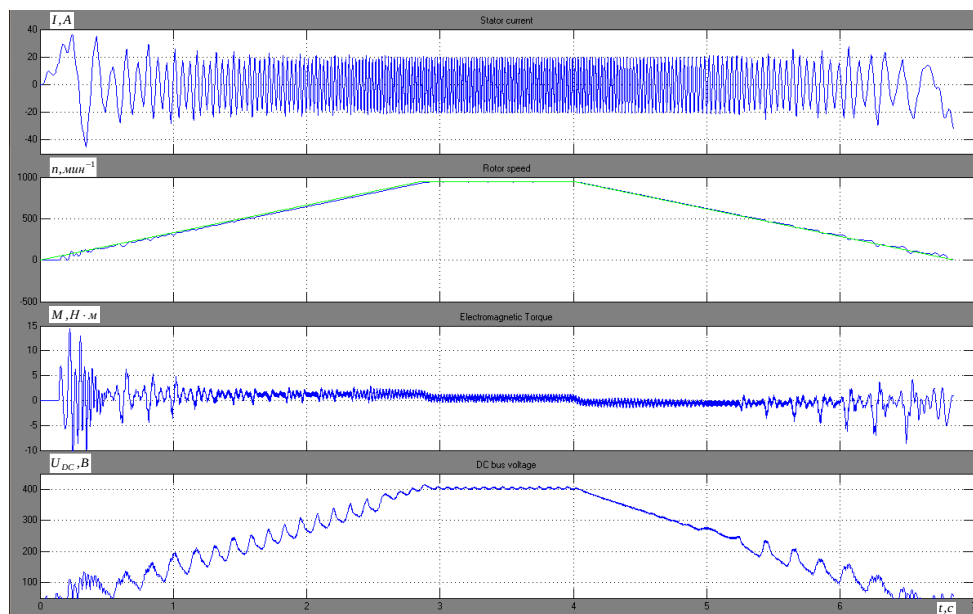


Рис. 2 – Временные зависимости тока статора, скорости, электромагнитного момента АДК и напряжения в звене постоянного тока

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для вузов/ М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов - М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с. – Текст: непосредственный.
2. Епифанов, А.П. Основы электропривода: учебное пособие для вузов/ а.П. Епифанов.- СПб.: Лань, 2008, - 192 с. - . Текст: непосредственный.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЧ-АДК С DTC В АЭП ЗАГРУЗКИ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ

Гамбург К.С., Лазарева Т.И.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
kgsam@mail.ru, tatylaz@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается возможность использования системы преобразователь частоты- асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с прямым управлением моментом в автоматизированном электроприводе загрузки сырых окатышей.

Ключевые слова: автоматизированный электропривод; прямое управление моментом, преобразователь частоты, загрузка.

USING THE DRIVE SYSTEM WITH DTC IN THE AED LOADING RAW PELLETS

Gamburg K.S., Lazareva T.I.

*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
kgsam@mail.ru, tatylaz@mail.ru*

Abstract. The article discusses the possibility of using the system frequency converter - asynchronous motor with a squirrel-cage rotor with direct torque control in an automated electric drive for loading raw pellets.

Keywords: automated electric drive; direct torque control; frequency converter; download.

Одним из наиболее сложных технологических переделов производства окатышей является их обжиг. Основной целью его является получение обожженных железорудных окатышей, максимально отвечающих требованиям металлургического передела, сохраняющими свои свойства при транспортировках, перегрузках и хранении их на открытых складах. Обжиг окатышей осуществляется на обжиговой машине конвейерного типа.

Технологическая схема обжига включает следующие операции:

- загрузка постели и укладка сырых окатышей на обжиговые тележки;

- термообработка сырых окатышей на обжиговой машине;
- разгрузка обожженного продукта в бункер-выравниватель температуры;
- уборка просыпи окатышей;
- очистка технологических газов от пыли.

В целях защиты обжиговых тележек от воздействия высоких температур предусмотрена донная и бортовая «постель». «Постелью» служат обожженные окатыши, выделенные в процессе классификации на участке обожженных окатышей, и переданные в бункера «постели», расположенные в головной части обжиговых машин системой конвейеров. Из бункеров «постель» загружается равномерным слоем (донная «постель» высотой 90-100 мм) на колосниковое поле обжиговых тележек и к бортам (бортовая «постель» шириной до 100 мм). Сырые окатыши укладываются на «постель» с роликовых укладчиков.

Алгоритм регулирования уровня окатышей в бункере-охладителе показан на рис.1

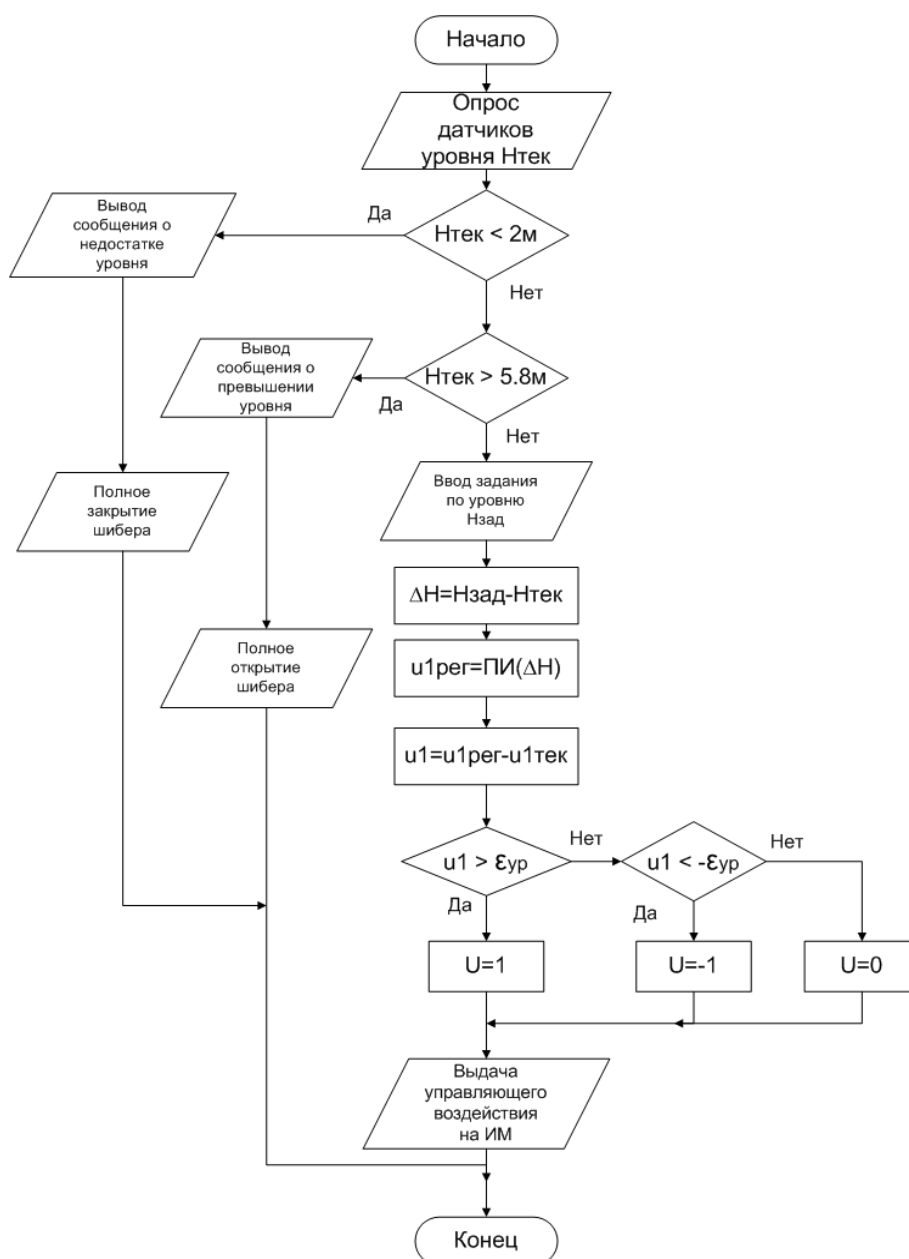


Рис. 1 – Блок-схема регулирования уровня окатышей в бункере-охладителе

Регулирование уровня окатышей в бункере-охладителе осуществляется по следующему алгоритму:

1. Производится опрос датчиков уровня окатышей в бункере-охладителе.
2. Если уровень находится в пределах $N_{тек} < 2$ и $N_{тек} > 5,8$, то выводится аварийное сообщение, и работа системы завершается.
3. Получение задания $N_{зад}$ с верхнего уровня АСУТП.
4. Рассчитывается рассогласование между заданием и текущим значением уровня ΔN .
5. Если $-0.1 \leq \Delta N \leq 0.1$, то 3-позиционное реле выдает сигнал $U=0$. Если $\Delta N > 0.1$, то выдается сигнал на открытие шиберов, иначе сигнал на закрытие шиберов.
6. Выдача управляющего воздействия на ИМ.

Структурная схема системы регулирования уровня окатышей в бункере-охладителе, и график зависимости уровня окатышей от времени приведены на рисунках 2 и 3, соответственно.

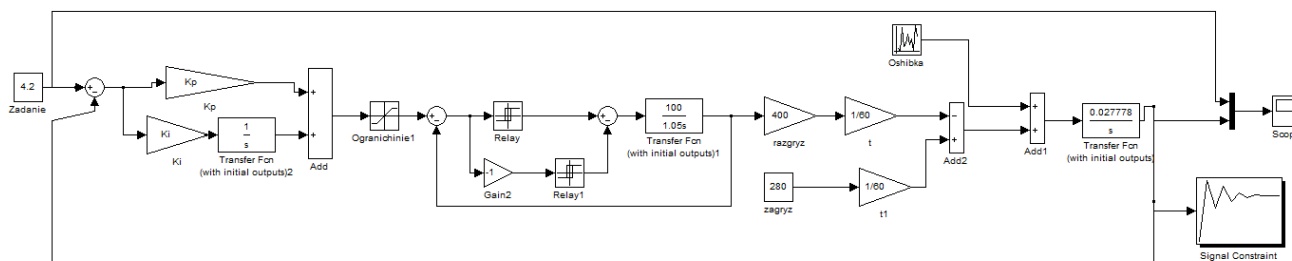


Рис. 2 – Структурная схема системы регулирования уровня окатышей в бункере-охладителе в среде Simulink.

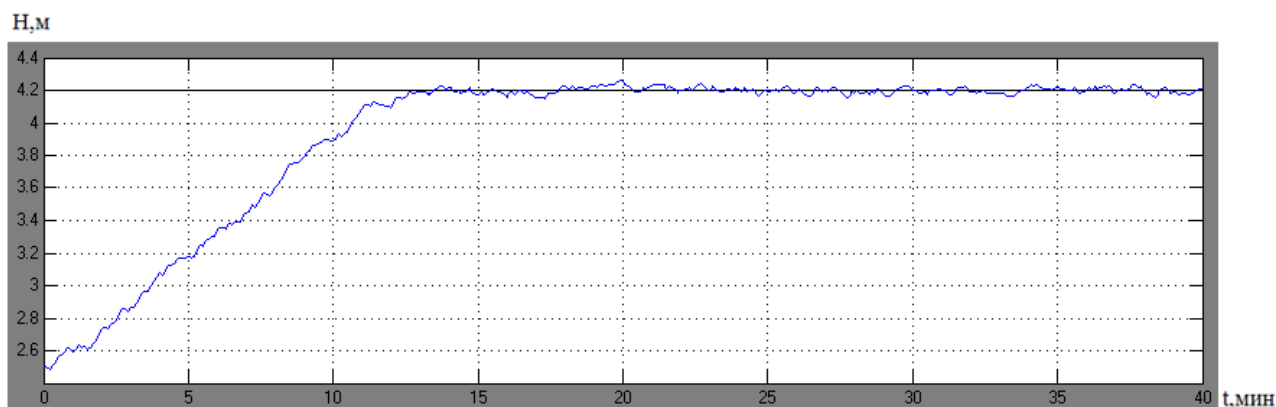


Рис. 3 – График зависимости уровня окатышей в бункере-охладителе от времени

Подсистема регулирования укладки сырых окатышей на обжиговые тележки является наиболее важной частью технологической автоматики обжиговой машины и оказывает большое влияние на стабильную и правильную работу остальных подсистем регулирования. Основной задачей регулирования этой подсистемы является поддержание заданного уровня слоя сырых окатышей независимо от подачи материала и его просыпи.

Алгоритм регулирования высоты слоя сырых окатышей предусматривает, что регулируемая величина является функцией от двух переменных - скорости движения тележек и количества окатышей, поступающих на обжиговый конвейер.

В основу работы предлагаемой системы преобразователь частоты - асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (ПЧ-АДК) с прямым управлением момента (DTC) положено уравнение электромагнитного момента асинхронного двигателя:

$$m = \frac{3}{2} p \frac{k_1 k_2}{\sigma L_m} |\Psi_s \times \Psi_r| = \frac{3}{2} p \frac{k_1 k_2}{\sigma L_m} \Psi_{sm} \cdot \Psi_{rm} \cdot \sin \vartheta, \quad (1)$$

где $k_1 = \frac{L_m}{L_s}$ - коэффициент электромагнитной связи статора; $k_2 = \frac{L_m}{L_r}$ - коэффициент

электромагнитной связи ротора; Z_p - число пар полюсов; $\sigma = 1 - k_1 k_2$ - коэффициент рассеяния;

L_m - индуктивность обмотки статора от основного магнитного потока; Ψ_s , Ψ_r - потокосцепления статора и ротора; $\Psi_{sm} = |\Psi_s|$; $\Psi_{rm} = |\Psi_r|$; ϑ - пространственный угол между векторами потокосцеплений статора и ротора.

Если модули векторов $|\Psi_s| = \Psi_{sm}$, $|\Psi_r| = \Psi_{rm}$ поддерживать постоянными, то величиной момента можно управлять, изменяя угол ϑ .

Алгоритм прямого управления моментом позволил устранить недостатки, присущие векторному способу управления: большой объем вычислений при прямом и обратном преобразовании неподвижной и вращающейся систем координат, наличие запаздывания при формировании электромагнитного момента.

Система DTC включает в себя следующие функциональные блоки:

- блок вычисления ненаблюдаемых координат привода;
- блок определения фазового сектора;
- блок релейных регуляторов системы DTC;
- блок, реализующий таблицу переключений.

С целью обеспечения заданного скоростного режима и получения временных характеристик требуемого качества в системе ПЧ – АД с DTC предусмотрена подсистема регулятора скорости.

При имитационном моделировании в среде MatLab/Simulink системы ПЧ-АД с DTC привода загрузки сырых окатышей обжиговой машины были использованы следующие задания:

- расчетная нагрузка $M_C = 157,19 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- в момент времени 1,1с она была приложена,
- в момент времени 1,2 с она была снята.

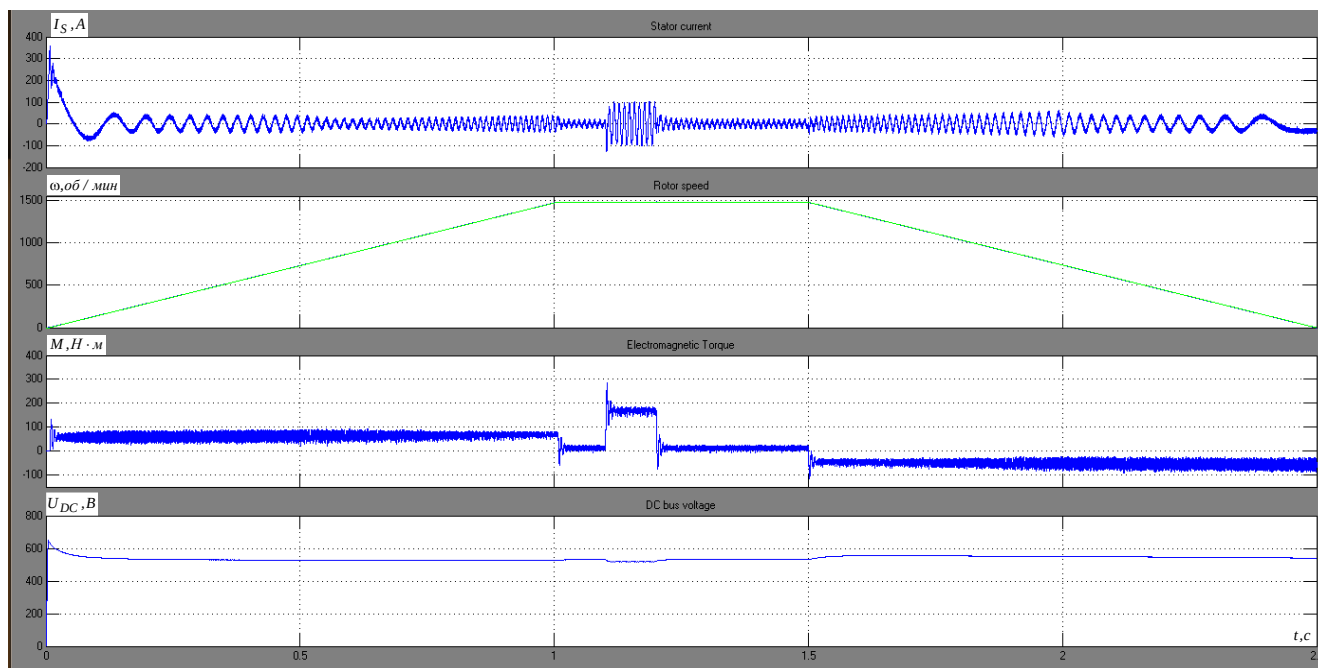


Рис. 4 – Временные зависимости тока статора, скорости, электромагнитного момента асинхронного двигателя и напряжения в звене постоянного тока

Результаты моделирования (рис.4.) показали, что система обеспечивает требуемое качество регулирования при высоком быстродействии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юсфин, Ю.С. Обжиг железорудных окатышей/ Ю.С. Юсфин, Т.Н. Базилевич. - М.: "Металлургия", 1994, 320с.
2. Технологическая концепция АСУ процессом производства железорудных окатышей на конвейерной обжиговой машине / Б.А. Боровиков.-Текст: непосредственный//Сталь.-2003.- №1.- с. 29-32.

РАЗРАБОТКА АГЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Основина О.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
osnovin72@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается выбор ролевого назначения интеллектуальных агентов для мультиагентного моделирования производственной системы мясоперерабатывающего предприятия агропромышленного комплекса. Необходимость выделения множества ролей взаимосвязанных интеллектуальных агентов на основе формализации принципов функционирования и особенностей мясоперерабатывающего предприятия обусловлена наличием фактора риска и априорной неопределенности при принятии оптимальных решений, а также объединением множества технологических процессов, материальных потоков и транспортных операций при управлении рассматриваемым бизнес-процессом.

Ключевые слова: мясоперерабатывающее предприятие; интеллектуальный агент; логистическая структура; биосырье; мультиагентное моделирование.

DEVELOPMENT OF AN AGENT STRUCTURE FOR THE PRODUCTION SYSTEM OF A MEAT PROCESSING ENTERPRISE

Osnovina O.N.

*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
osnovin72@mail.ru*

Abstract. The article discusses the choice of role-based intelligent agents for multi-agent modeling of the production system of a meat processing enterprise of the agro-industrial complex. The need to identify many roles of interconnected intelligent agents on the basis of formalizing the principles of functioning and features of a meat processing enterprise is due to the presence of a risk factor and a priori uncertainty in making optimal decisions, as well as the combination of many

technological processes, material flows and transport operations in managing the business process in question.

Keywords: meat processing enterprise; intelligent agent; logistic structure; bio raw materials; multi-agent simulation.

Введение. Моделирование больших систем любой физической, социальной и биологической природы связано с необходимостью формализации структурных и функциональных особенностей системы, реализуемым на основании комплексного моделирования предметной области, с выделением состава интеллектуальных агентов, делегирования им ролей в соответствии с целевым назначением, разработкой их структурных и математических моделей, алгоритмов поведения и взаимодействия.

Предметная область для моделирования. В рамках работы рассматривается мясоперерабатывающее предприятие, управление которым связано с принятием оптимальных решений в условиях неопределенности и риска, обусловленных стохастическими колебаниями свойств и состава перерабатываемого сырья животного и растительного происхождения, особенностями технологий переработки, маркетинговыми характеристиками спроса на продукцию и инфраструктурой связей с потребителями [1].

Процесс управления включает следующие задачи:

- выбор оперативной и долгосрочной стратегии переработки биосырья, обеспечивающей максимально возможную прибыль за определенный период времени на основе структурной оптимизации технологической системы;
- ассортиментная оптимизация выпускаемой продукции, востребованной на рынке, с учетом имеющихся сырьевых ресурсов;
- рецептурная оптимизация выпускаемых продуктов по критериям качества, биологической ценности и безопасности [1].

Сложность решения вышеперечисленных задач обусловлена возможной нестабильностью поставок сырья, избытком или недостатком отдельных сырьевых компонентов, сезонными колебаниями рыночных заказов, ограниченным хранением сырьевой/ готовой продукции, особенностями используемых биотехнологий.

Логистическая структура мясоперерабатывающего предприятия (рис. 1), включающая сферу снабжения, производства, маркетинга и сбыта готовой продукции, объединяет множество разнородных технологических процессов, материальных потоков и транспортных операций. Поэтому для решения обозначенных задач применяется мультиагентное моделирование, в рамках которого имитируются процессы поступления сырья и управления

запасами, планирования переработки и реализации продукции в зависимости от динамики внешних поставок заказов и торгующих организаций.

Формализация и моделирование процессов поведения и взаимодействия агентов позволяют имитировать и прогнозировать возникновение качественно новых состояний разрабатываемой системы и оценить возможности достижения цели при разных альтернативах, а также обосновать принятие решений в сложных ситуациях риска, неопределенности и конфликта [2].

Рольное назначение агентов моделируемой системы. Система представляется совокупностью взаимосвязанных интеллектуальных агентов $Agents = \{Ag_1, Ag_2, \dots, Ag_6\}$, имитирующих процессы производственной логистики, логистики снабжения и логистики сбыта.

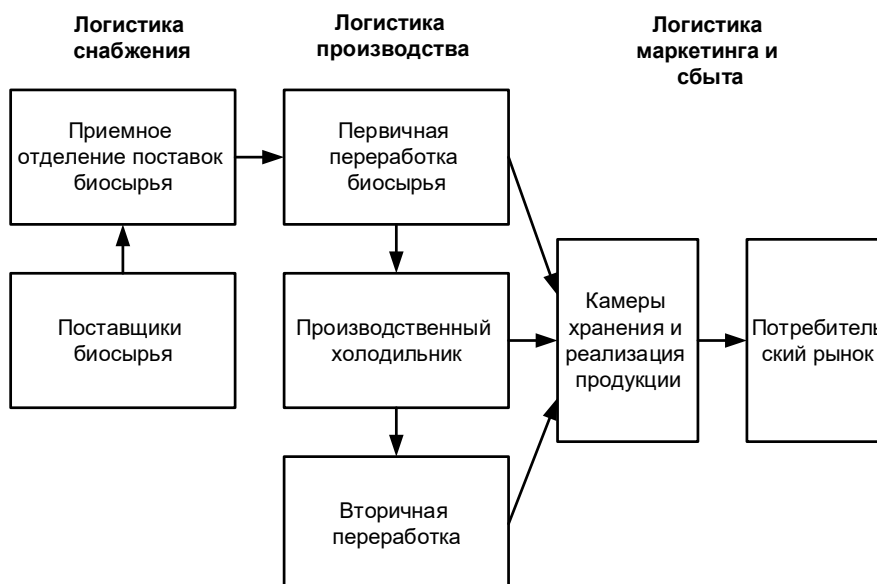


Рис. 1 – Логистическая структура мясоперерабатывающего предприятия

Агент Ag_1 «Поставка» имитирует в форме накопительных массивов поступление на мясоперерабатывающее предприятие биосырья g_{ij} j -го вида ($g = \overline{1, m}$) от i -го $i = \overline{1, n}$ поставщика по соответствующему закону распределения в зависимости от дня недели, времени суток, сезонности с различными параметрами состояния: приоритет использования Pg_{ij} , масса партии сырья (mas), цена ($cena$), качество, удаленность поставщика.

Агент Ag_2 «Складирование» описывает процесс поступления биосырья g_{ij} от Ag_1 в соответствии с приоритетом Pg_{ij} на склад предприятия, распределение и хранение его в течение определенного времени TAg_2 , а также организацию очереди на переработку каждого вида сырья g_{ij} по стратегии *FIFO* (первый пришел, первый вышел) с введением новых параметров состояния: вид обработки, содержание составляющих компонентов.

Агент Ag_3 «Первичная переработка» имитирует логику поступления и первичной переработки партий биосырья j -го вида с расщеплением входного потока животных C_j из Ag_2 на несколько выходных потоков y_{ij} , описывающих фактический выпуск i -го продукта первичной переработки из j -го вида исходного сырья и направление в соответствующие камеры хранения.

Агент Ag_4 «Вторичная переработка» представляет переработку биосырья в течение заданного времени TAg_4 при объединении нескольких материальных потоков y_{ij} из Ag_3 в i -й комбинированный выходной продукт y_{2i} ; $i = \overline{1, n}$ сферы вторичной переработки с определением параметров ее состояния и передачей готовой продукции в камеры хранения.

В Агенте Ag_5 «Накопление и реализация» имитируется накопление и хранение продукции в течение определенного времени в соответствующих камерах хранения, а обслуживание заказов торгующих организаций с изменением параметров состояния материальных потоков готовой продукции и транспортных средств с различными комбинациями каналов обслуживания и погрузочных рамп.

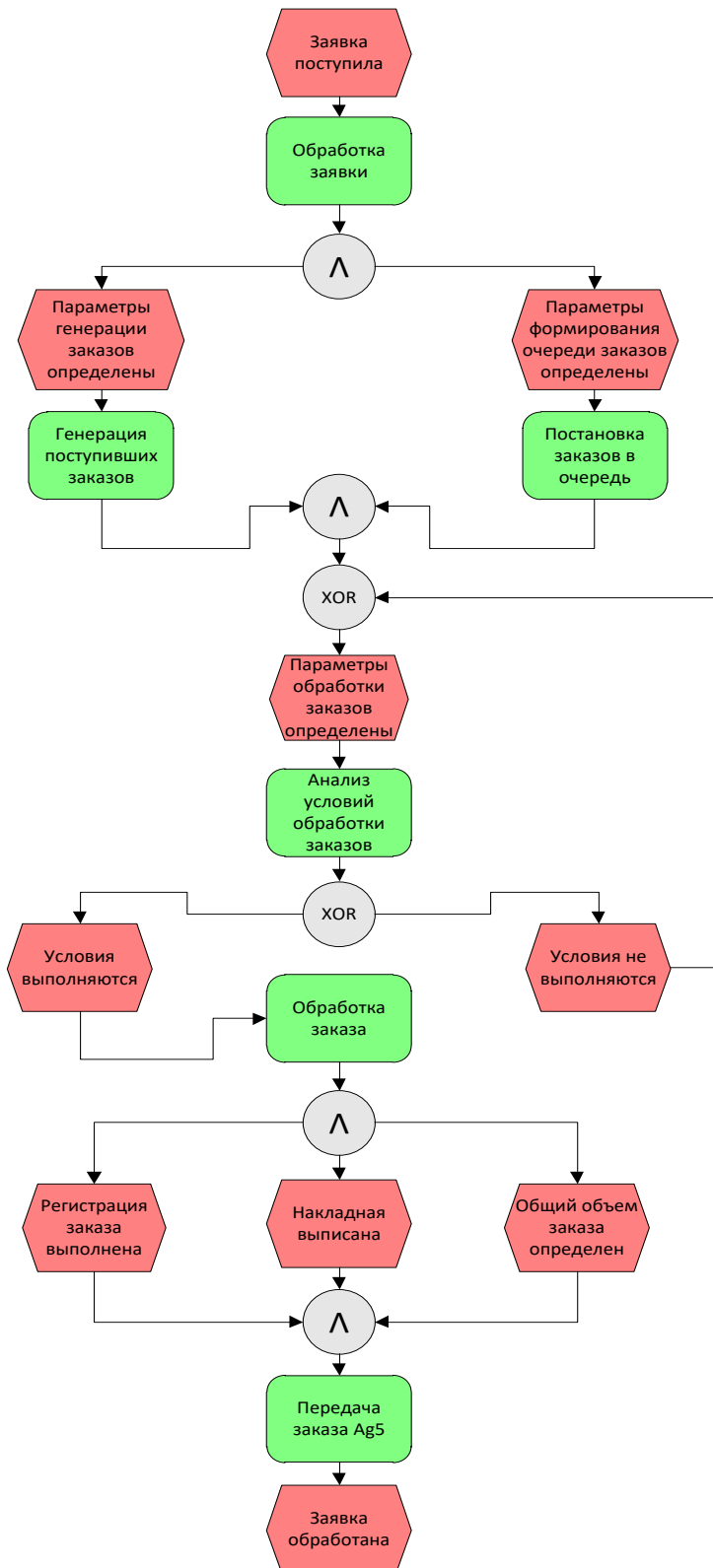


Рис. 2 – Алгоритм поведения агента Ag_6 «Обработка заказов»

Агент Ag_6 «Обработка заказов» имитирует процесс поступления и обработки заказов

$Gx_{ij}^{zak,t}$ торговых организаций на i -й ($i = \overline{1, n}$) вид готовой продукции первичной переработки j -го ($j = \overline{1, m}$) исходного биосырья, а также заказов на i -й вид продукции $y_i^{zak,t}$,

где t – номер торгующей организации ($t = \overline{1, tk}$), в зависимости от дня недели, времени суток и сезонности по определенному закону распределения в виде транспортных средств с различными параметрами состояния: время поступления, масса заказываемой продукции ($masz$), грузоподъемность, приоритет обслуживания $P_{ij}^{zak,t}$ и $P_{2i}^{zak,t}$.

Алгоритм поведения агента Ag_6 представлен с помощью ЕРС-диаграммы на рис. 2. После поступления заявки на продукцию от торгующих организаций Ag_6 выполняет генерацию поступивших заявок и их постановку в очередь в соответствии с приоритетами $P_{ij}^{zak,t}$ и $P_{2i}^{zak,t}$. Если количество заказов в очереди больше нуля и не превышает максимально возможное число, то заказ поступает на обработку, которая включает его регистрацию, выписку накладной и расчет общего объема заказа по всем поставщикам. По окончании обслуживания заказа торгующей организации заявка удаляется агентом Ag_5 с коррекцией объемов запасов и невыполненных заказов.

Заключение. Рассмотренный состав интеллектуальных агентов позволит имитировать процессы производственной логистики, логистики снабжения и сбыта для реализации мультиагентной логистической системы мясоперерабатывающего предприятия. Введение параметров состояния для каждого типа агентов позволит разработать адекватные математические модели и алгоритмы их поведения, отражающие изменение состояния и выбор целенаправленных решений на очередном шаге межагентного взаимодействия в условиях неполной, нечеткой или ошибочной информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивашкин Ю.А. Мультиагентное моделирование в имитационной системе Simplex3: учебное пособие / Ю.А. Ивашкин. – М.: Лаборатория знаний, 2016. – 350 с.
2. Ивашкин Ю.А., Шешенина Л.А. Имитационное моделирование и структурная оптимизация материальных потоков перерабатывающего предприятия агропромышленного комплекса // Научно-технический журнал «Информационные технологии моделирования и управления». – Воронеж. - 2007. Вып. 2(36). С. 258–267.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЕДИНОГО ХРАНИЛИЩА ЗНАНИЙ О НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Основина О.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
osnovin72@mail.ru*

Аннотация. В статье предлагается подход к организации единого хранилища интегрированных знаний об эксплуатационной надежности технических систем. Категоризация данных и знаний, реализованная с помощью методологии ARIS позволяет определить системные возможности и ограничения. Управление знаниями позволит обеспечить интеграцию взаимодействия всех участников жизненного цикла оборудования и формирование объективных предпосылок для разработки и создания единого информационного окружения.

Ключевые слова: техническая система; база знаний; показатели надежности; знаниевый ресурс; хранилище знаний; отказ, условия эксплуатации.

ORGANIZATION OF A SINGLE REPOSITORY OF KNOWLEDGE ABOUT THE RELIABILITY OF TECHNICAL SYSTEMS

Osnovina O.N.

*Sary 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, Sary Oskol, microdistrict named after Makarenko, 42
osnovin72@mail.ru*

Abstract. The article proposes an approach to organizing a single repository of integrated knowledge about the operational reliability of technical systems. The categorization of data and knowledge, implemented using the ARIS methodology, allows you to determine system capabilities and limitations. Knowledge management will ensure the integration of the interaction of all participants in the equipment life cycle and the formation of objective prerequisites for the development and creation of a single information environment.

Keywords: technical system; knowledge base; reliability indicators; knowledge resource; repository of knowledge; failure, operating conditions.

Введение. Необходимым этапом разработки/эксплуатации любой сложной технической системы (ТС) является оценка и анализ показателей надежности, точность и достоверность которых зависит от применяемых методик. Существующие традиционные способы базируются на методах теории вероятностей и математической статистики и применимы преимущественно для обработки результатов испытаний.

В последнее время отмечается смещение акцента с проведения испытаний на разработку различных способов априорного, используемого еще на этапе проектирования ТС, математического моделирования процессов их функционирования в условиях различных внешних воздействий. Это приводит к тому, что оптимизация показателей надежности осуществляется по группе физически однородных параметров без учета комплексного характера реальных воздействий, вследствие чего для анализа и оценки надежности сложных ТС производители вынуждены применять комплексы методически и информационно разнородных способов и моделей. Это значительно снижает достоверность получаемых результатов.

Таким образом, существует необходимость в едином методическом подходе к анализу надежности сложных ТС, который рассматривает их как единое целое в виде комплекса взаимосвязанных показателей и в то же время позволяет использовать накопленный в этой области богатый теоретический и практический опыт.

Одним из наиболее перспективных подходов к решению данной проблемы является использование методологии экспертных систем, ключевой особенностью которых является возможность моделирования процессов принятия решений специалистом в отдельной предметной области на основе определенным образом организованных профессиональных знаний.

Специфика предметной области анализа надежности сложных ТС заключается в необходимости комплексного учета особенностей таких системно разнородных сущностей как сама система, которая является сложной многоуровневой структурой, выполняемых ею функциях, так и видах нарушения работоспособности оборудования, входящего в эту систему. Эти особенности обуславливают проблемно-ориентированную направленность разработки инструментальной среды системы обеспечения надежности.

В рассмотренных условиях база знаний (БЗ) по вопросам надежности вкупе с математическими методами расчетов приобретает самостоятельную ценность для широкого круга как проектных, так и эксплуатационных организаций, в отличие от, например, ныне существующих универсальных математических и статистических пакетов прикладных программ. Учитывая, что практическая реализация инструментальной системы предполагает использование принципа открытости для пополнения как системы знаний, так и набора

расчетных методов, данная система может служить мощным информационным ресурсом конкретного предприятия или отрасли в целом.

Совокупность профессиональных знаний об эксплуатационной надежности технологического оборудования подразделяются на явные (объективные) и неявные (субъективные). Неявные знания, которые содержатся в головах отдельных сотрудников и специалистов, являются неформализованными и зачастую скрытыми (персональный опыт, навыки, образование и т.п.). Явные знания, которые содержатся в документах и справочниках, можно считать формализованными, так как ввиду наличия разнообразных требований к документированию, такие знания так или иначе уже представлены определенными на естественном или искусственном языке [1].

Очевидна объективная актуальность задачи моделирования знаний, как ресурса предприятия. При этом сотрудники разных подразделений предприятия, прямо или косвенно участвующие в обеспечении надежности ТС, должны в полной мере использовать свой опыт, разнородные данные и знания, приобретенные и накопленные в течение длительного срока [2].

Ввиду объективной разнородности знаний, требующихся для получения достоверной информации о надежности ТС возникает необходимость приведения их к единым формам с целью их учета, систематизации и интеграции для повышения эффективности дальнейшего использования на всем информационном пространстве. Таким образом, разработка модели организации знаний является одним из этапов создания единого информационного пространства.

Разработка модели организации знаний. Для построения модели все информационное пространство классифицируется на три предметные области знаний (S), которые обозначены следующим образом [2]:

- 1 - знания о функциях, реализуемых ТС;
- 2 - знания об отказах, произошедших с оборудованием, входящим в состав ТС;
- 3 - интегрированные знания о надежности оборудования/ подсистемах, системе.

Каждая из предметных областей знаний (S) разбивается на множество предметных тематических разделов - t (частные предметные области знаний), которые определяются в каждом конкретном случае формирования знаниевых ресурсов (ЗР). Например, предметная область знаний **1** может включать следующие предметные темы знаний: Условия эксплуатации (нормальные), Опыт эксплуатации. Предметная область знаний **2** - Знания об условиях эксплуатации, в которых произошли отказы, Знания о последствиях отказов и их внешних проявлениях, а также Знания об упреждающих действиях, направленных на предотвращение развития отказов. Предметная область знаний **3** может содержать разделы по

составу показателей надежности и методам их оценки, а также рекомендации по повышению надежности.

В зависимости от функционального предназначения вышеперечисленные ЗР сгруппированы по следующим направлениям деятельности, исходя из определения основных пяти функций F:

К - информационно-консультационная;

П - проектная;

О - обучающая;

Э - эксплуатационная;

С - специального обслуживания.

Таким образом, с помощью классификационного разбиения всего пространства ЗР определена структура хранилища знаний. При этом ЗР структурированы на предметные области (1-й ранг), предметные темы (2-й ранг) и функции (3-й ранг), в результате чего образуются предметно-тематические функциональные поля с 3-мерным системным обозначением. Графически это выглядит следующим образом (рис. 1).

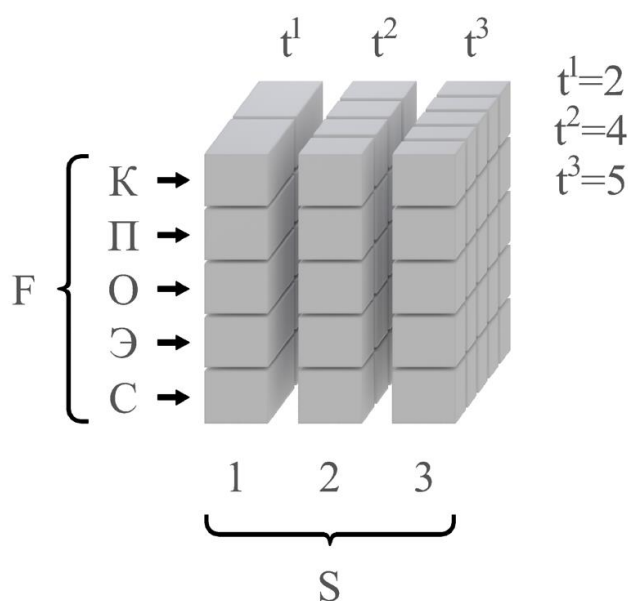


Рис. 1 – Пространство знаниевых ресурсов

Исходя из вышеприведенной организации системы, любой ЗР можно классифицировать:

а) по одной из трех предметных областей знаний: $S = \{1, 2, 3\}$;

б) по одной из множества предметных тем в данной области - t^s (количество тем в области - N^s);

в) по одной из пяти функций: $F = \{K, П, О, Э, С\}$.

Отсюда предметно-тематическое функциональное поле знаний однозначно идентифицируется тройкой: $\Pi = (S, t, F)$.

Учитывая тот факт, что к определенному идентифицируемому полю как тематическому направлению в конкретной области фактов, данных и знаний относится множество разнообразных подтем, разделов и других структурных понятий, более детально характеризующих содержательную часть ЗР, целесообразно ЗР данного поля классифицировать по четвертому вектору - по разделам (P), представляющему четверку: $P = (S, t, F, j)$.

Обозначим ЗР отдельного j -раздела как информационный компонент одного поля хранилища знаний, к которому будут относиться любые ЗР, отвечающие вышеприведенной классификации, т. е. ресурсы r^{StFj} . В данном случае набор индексов строго идентифицирует принадлежность данного ЗР к j -разделу, F - функции, t - предметной тематике, S - предметной области.

Следуя приведенной классификации можно определить суммарные ЗР по тематике одной из трех предметных областей знаний, по определенной функции одной предметной области знаний, суммарный объем ресурсов по определенной функции, суммарный ресурс одной предметной области знаний, а также общий ресурс хранилища знаний.

Суммарный ресурс одного поля ЗР можно представить в виде:

$$r_{\Pi}^{StF} = \sum_{j=1}^{N^{StF}} r^{StFj}, \quad (1)$$

где N^{StF} - количество разделов в поле StF .

ЗР можно идентифицировать только в том случае, если он больше 0, т. е. существуют конкретные материалы, данные и знания по конкретному разделу.

Суммарные ЗР по тематике одной из трех предметных областей знаний можно выразить следующим образом:

$$r^{St} = \sum_{j=1}^3 r_{\Pi}^{StF}. \quad (2)$$

Аналогичным образом определяется суммарный ЗР одной предметной области:

$$r_S = \sum_{F=1}^5 \sum_{t=1}^{N^S} r_{\Pi}^{StF}. \quad (3)$$

Суммарный объем ЗР по определенной функции F можно определить так:

$$r^F = \sum_{S=1}^3 \sum_{t=1}^{N^S} r_{II}^{StF}. \quad (4)$$

Общий ЗР хранилища знаний представляется следующим образом:

$$R = \sum_{S=1}^3 \sum_{t=1}^{N^S} \sum_{F=1}^5 r_{II}^{StF}. \quad (5)$$

Заключение. Рассмотренный подход и принцип построения единого хранилища знаний о надежности эксплуатируемого оборудования позволяют решать не только задачи систематизации, структуризации и идентификации различных ЗР, но и позволит организовать работу отдельных производственных подразделений с учетом их функциональной деятельности, связанной с оценкой, анализом и использованием ЗР в области обеспечения требуемой надежности ТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов К.А. Системы поддержки принятия решений. В 2 ч. Часть 1: учеб. Пособие для вузов / К.А. Аксенов, Н. В. Гончарова; под науч. ред. Л.Г. Доросинского. – М.: Издательство Юрайт, 2018; Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та. – 103 с.
2. Основина О.Н., Жуков П.И. Моделирование базы знаний для поддержки эксплуатации технологического оборудования // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2019. Т. 15. № 6. С. 30-37.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРПОРАТИВНОЙ ПАМЯТИ ДЛЯ ПРОЦЕССА ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Основина О.Н., Гамбург К.С.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
osnovin72@mail.ru, kgsam@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрена объективная необходимость разработки и внедрения инструментов и систем управления знаниями, как одного из ресурсов, обеспечивающих эффективную эксплуатацию оборудования и систем. Разработана диаграмма структуры знаний с помощью ARIS-методологии. Проведена идентификация процессов управления знаниями и разработана IDEF0-модель верхнего уровня процесса разработки корпоративной памяти, как основы системы управления знаниями. Для дальнейшего моделирования, анализа и обеспечения возможности повторного использования знаний о рассматриваемой предметной области предложено использовать онтологическое моделирование.

Ключевые слова: интегрированная логистическая поддержка; управление знаниями; корпоративная память; база знаний; онтология; управление знаниями.

MODELING CORPORATE MEMORY FOR THE PROCESS OF INTEGRATED LOGISTICS SUPPORT FOR THE OPERATION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Osnovina O.N., Gamburg K.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
osnovin72@mail.ru, kgsam@mail.ru*

Abstract. The objective need for the development and implementation of tools and knowledge management systems is considered as one of the resources that ensure the effective operation of equipment and systems. A knowledge structure diagram was developed using the ARIS methodology. The identification of knowledge management processes has been carried out and an IDEF0-model of the upper level of the corporate memory development process has been developed as the basis for a

knowledge management system. For further modeling, analysis and ensuring the possibility of re-using knowledge about the considered subject area, it is proposed to use ontological modeling.

Keywords: integrated logistics support; knowledge management; corporate memory; knowledge base; ontology; knowledge management.

Введение. Грамотно обеспечивать интегрированную логистическую поддержку (ИЛП) эксплуатации технологического оборудования современных отечественных предприятий – достаточно сложная задача, при этом сотрудники руководствуются своим опытом и знаниями, приобретенными в течение многих лет. Чем больше этих знаний, тем более выгодно для предприятия, которое, в свою очередь, повышает конкурентоспособность, снижая эксплуатационные затраты.

В общепринятом понимании управление знаниями (УЗ) – это установленный в организации четкий порядок работы с информационно-знаниевыми ресурсами и специалистами в определенных сферах деятельности для облегчения доступа к знаниям и повторного их использования с помощью современных информационных технологий [1]. Примером систем УЗ может служить корпоративная память (КП), предназначенная для накопления и управления знаниями предприятия [2]. КП хранит большие объемы данных, информации и знаний из различных источников и делает эту информацию доступной специалистам для решения производственных задач.

КП включает работу как с явными знаниями конкретной предметной области в форме баз данных (БД) и электронных архивов, так и со скрытыми знаниями — либо фиксируя их в форме экспертных систем или БД, либо обеспечивая поиск и доступ к экспертам по соответствующим категориям знаний.

Необходимость в создании КП обусловлена потребностью предприятий более эффективно использовать знания, которыми они располагают, а также явлением потери опыта, которая в основном связана с увольнением или уходом на пенсию высококвалифицированных опытных сотрудников, но может также происходить в результате смены их квалификации, необходимой для реализации новых видов деятельности. В обоих случаях приобретенный опыт эксплуатации полностью или частично утрачивается и его восстановление требует существенных временных затрат и в целом приводит к повышению эксплуатационных расходов. Данное обстоятельство обуславливает объективную необходимость вкладывать средства в разработку инструментов и систем, способствующих обмену опытом между сотрудниками как внутри отдельного производственного подразделения, так и производства в целом. Также необходимо снижать зависимость накопленного знаниевого ресурса предприятия от владеющих им работников.

процессе ИЛП, что обеспечивается с помощью баз знаний (БЗ). При решении возникшей технической проблемы (отказ, сбой, нарушение условий эксплуатации и т.д.) или выполнении плановых мероприятий по техническому обслуживанию персоналом, происходит последний подпроцесс «Генерация новых знаний», которые подвергаются анализу и заносятся в БЗ.

Для реализации подпроцесса «Анализ» была разработана структура представления классифицированной информации (рис. 2), обладающая максимальной наглядностью, простотой изменения и дополнения. Для этого была использована ARIS-методология визуального моделирования, позволяющая обеспечить информационную поддержку предоставления процессно-ориентированного комплексного взгляда на реализацию ИЛП.

Разработанная «Диаграмма структуры знаний» содержит типы объектов – «Категория знаний», представляющая объект с содержимым, относящимся к конкретным явным и неявным знаниям и «Документированные знания» – объекты, отражающие хорошо формализуемые данные, хранящиеся в виде электронных документов и подлежащие передаче или использованию без процедур предобработки [4].

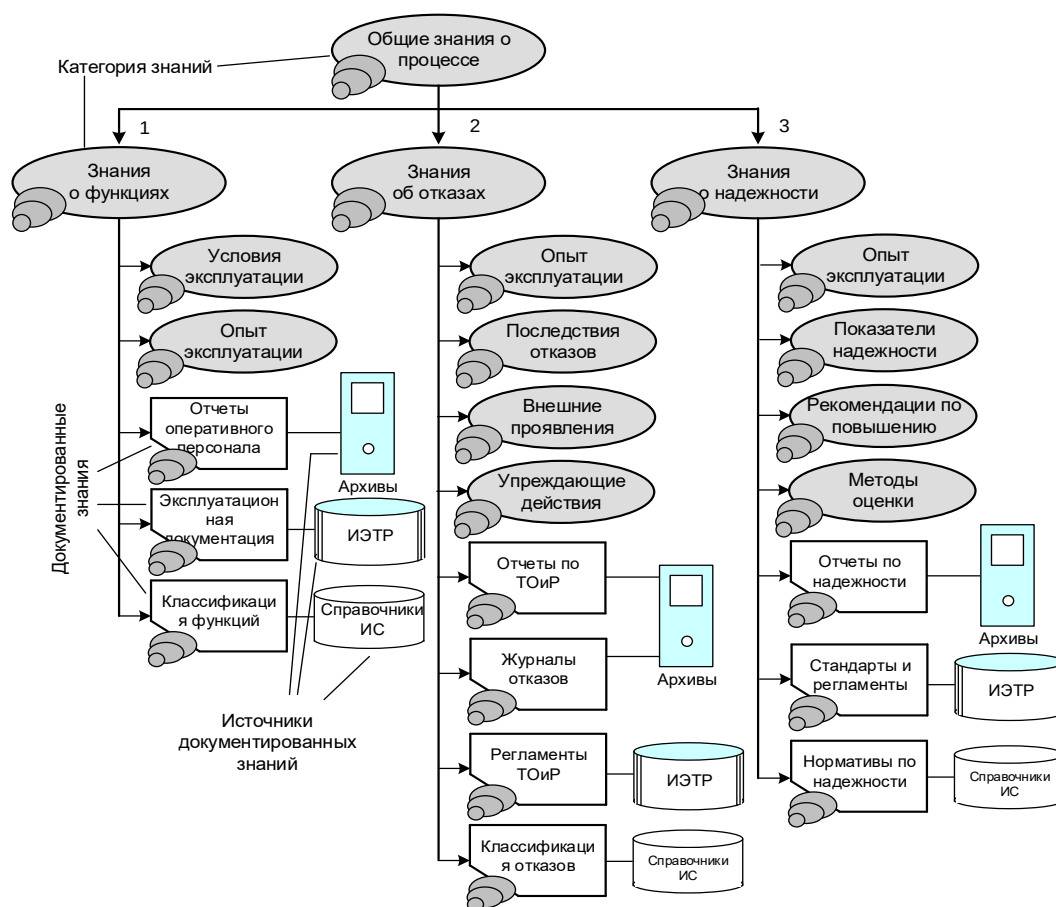


Рис. 2 – Диаграмма структуры знаний

Результатом реализации подпроцесса «Разработка онтологии» является модель рассматриваемой предметной области в виде сетевой структуры, где семантика каждого понятия определяется через его отношения с другими понятиями. Во множестве отношений существует отношение типа «класс – подкласс», упорядочивающее понятия предметной области в иерархию – таксономию понятий, что отличает онтологию от семантических сетей и систем фреймов.

Онтология строится как сеть, состоящая из концептов и связей между ними, которые имеют универсальный характер для некоторого класса понятий предметной области. Можно выбрать некоторое понятие из этого класса и для него «заполнить» онтологию, задавая конкретные значения атрибутам. Использование онтологических моделей для реализации КП особенно актуально, поскольку обеспечивает необходимость достижения общего понимания структуры разнородной информации широким кругом людей, задействованным в процессе ИЛП. Кроме того, это крайне полезный инструмент в случае постоянной необходимости повторного использования знаний и разностороннего анализа предметной области. Онтология в совокупности с оригинальным набором экземпляров классов образует базу знаний [5]. Возможность иметь более одного значения для каждого свойства - одно из отличий онтологии от реляционной модели.

Формальная онтологическая модель задается множеством [6]:

$$O = \{C, R, A\}, \quad (1)$$

где O – онтология;

C - совокупность классов предметной области;

R - совокупность отношений между ними;

A - набор аксиом (законов и правил, которые описывают законы и принципы существования классов).

Сразу следует отметить, что в настоящее время не существует единого стандартизированного подхода к созданию онтологий, который мог бы привести к однозначно успешному результату. Этот процесс онтологий, как правило, является итеративным, т.е. по мере необходимости происходит возврат для определения деталей онтологической модели, пока она не будет отражать концепцию максимально универсально и информативно в рамках ее предназначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тузовский А.Ф., Чириков С.В., Ямпольский В.З. Системы управления знаниями (методы и технологии)/ Под общ. ред. В.З. Ямпольского. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. 260 с.
2. Gomez-Perez A. Ontologies: Theory, methods and tools. Tutorial. The Fourth Summer School on Ontological Engineering and the Semantic Web, 2006 (SSSW'06).
3. Научный журнал КубГАУ, №80(06), 2012 года <http://ej.kubagro.ru/2012/06/pdf/11.pdf>
4. Основина О.Н., Жуков П.И. Моделирование базы знаний для поддержки эксплуатации технологического оборудования // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2019. Т. 15. № 6. С. 30-37.
5. Лапшин В.А. Онтологии в компьютерных системах // М.: Научный мир, 2010. 224 с.
6. Палагин А.В., Петренко Н.Г., Малахов К.С. Методика проектирования онтологии предметной области // Компьютерные средства, сети и системы. 2011. № 10. С. 5-12.

ПРИМЕНЕНИЕ АЭП ПО СИСТЕМЕ ПЧ-АДК С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО АЭП

Гамбург К.С., Основина О.Н.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
kgsam@mail.ru, osnovin72@mail.ru,*

Аннотация. В статье рассматривается возможность модернизации существующего автоматизированного электропривода лифтов в соответствии с Правилам устройства и безопасности эксплуатации лифтов ПБ 10-558-03, гармонизированных с европейскими правилами безопасности на лифтах

Ключевые слова: автоматизированный электропривод; лифт; векторное управление, моделирование; критерий Раунса-Гурвица.

APPLICATION OF AED ACCORDING TO THE DRIVE SYSTEM WITH VECTOR CONTROL WHEN UPGRADING AN EXISTING DRIVE

Gamburg K.C., Osnovina O.N

*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
kgsam@mail.ru, osnovin72@mail.ru,*

Abstract. The article discusses the possibility of modernizing the existing automated electric drive of elevators in accordance with the Rules for the Construction and Safety of Operation of Elevators PB 10-558-03, harmonized with the European safety rules for elevators

Keywords: automated electric drive; elevator; vector control, modeling; Rauss-Hurwitz test.

Одним из путей решения проблемы обновления существующего парка лифтов для их соответствия Правилам устройства и безопасности эксплуатации лифтов ПБ 10-558-03, гармонизированных с европейскими правилами безопасности на лифтах, является модернизация автоматизированного электропривода (АЭП). Как правило, стоимость АЭП составляет около 75 процентов от стоимости нового лифта.

Учитывая требования, предъявляемые к приводу лифта:

- точность позиционирования,
- жесткие механические характеристики,
- плавный пуск и плавное торможение,

выбираем привод с векторным управлением.

Регуляторы потокосцепления ротора $|\psi_r|$, составляющих тока статора по оси X и по оси Y, а также регулятор скорости были отстроены на технический оптимум.

Рассчитав коэффициент усиления для П-регулятора, получили структурную схему (рис.2) и математическую модель (рис.3) АЭП по системе ПЧ-АДК с векторным управлением.

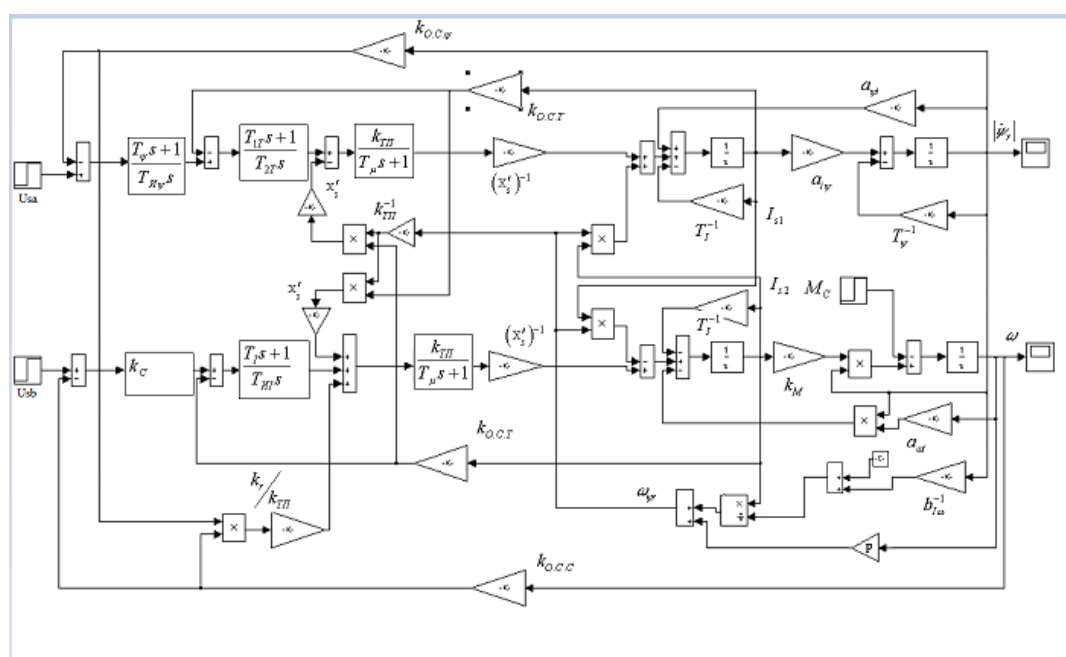


Рис.2 – Структурная схема АЭП по системе ПЧ-АДК с векторным управлением

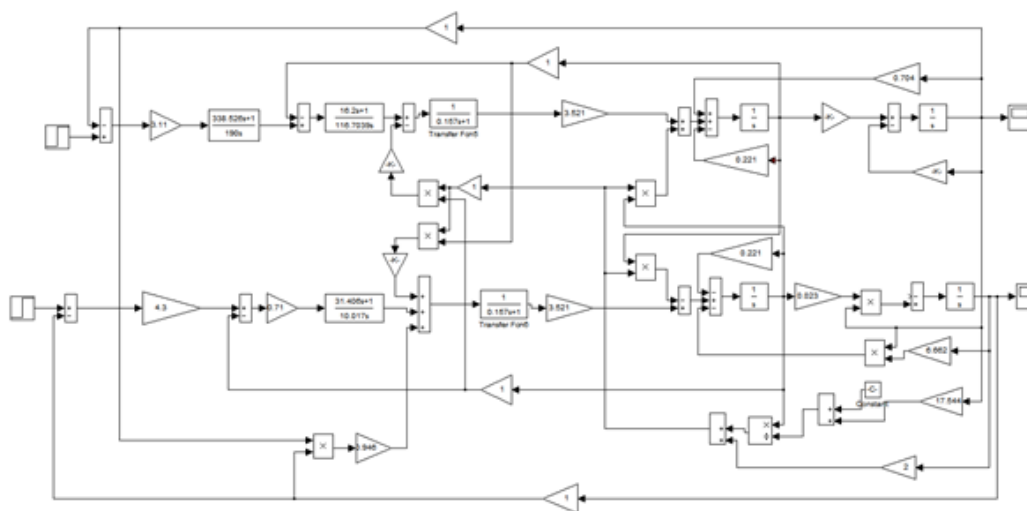


Рис.3 – Математическая модель АЭП по системе ПЧ-АДК с векторным управлением

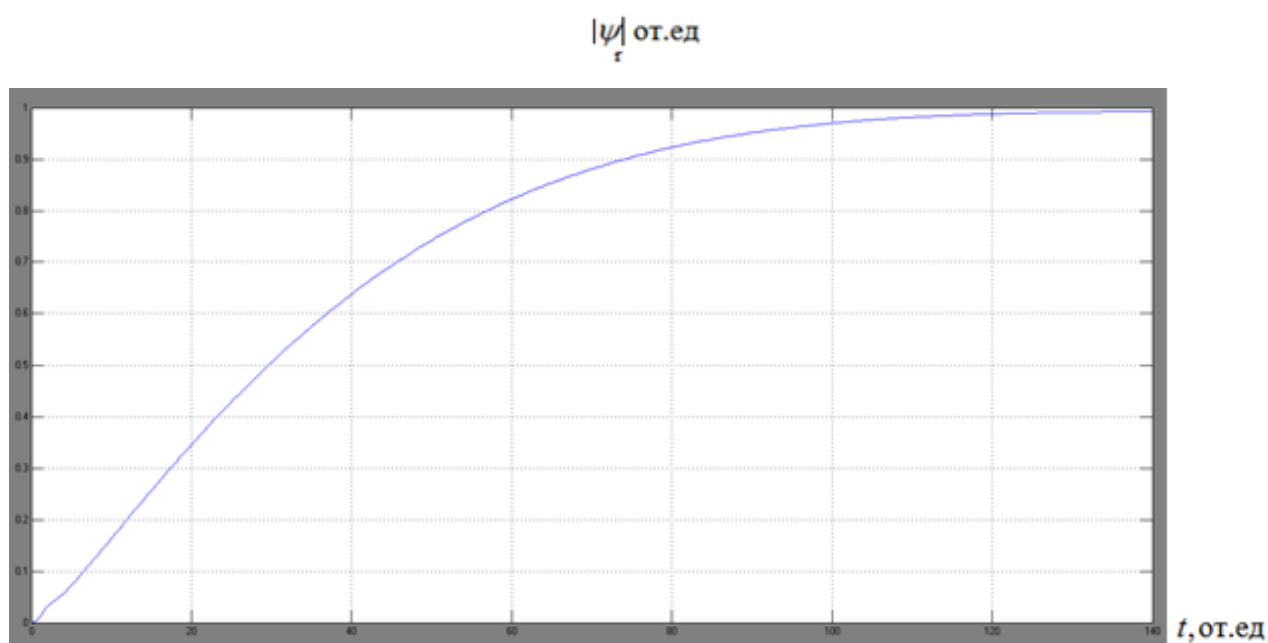


Рис.4 – Зависимость вектора потокосцепления ротора от времени

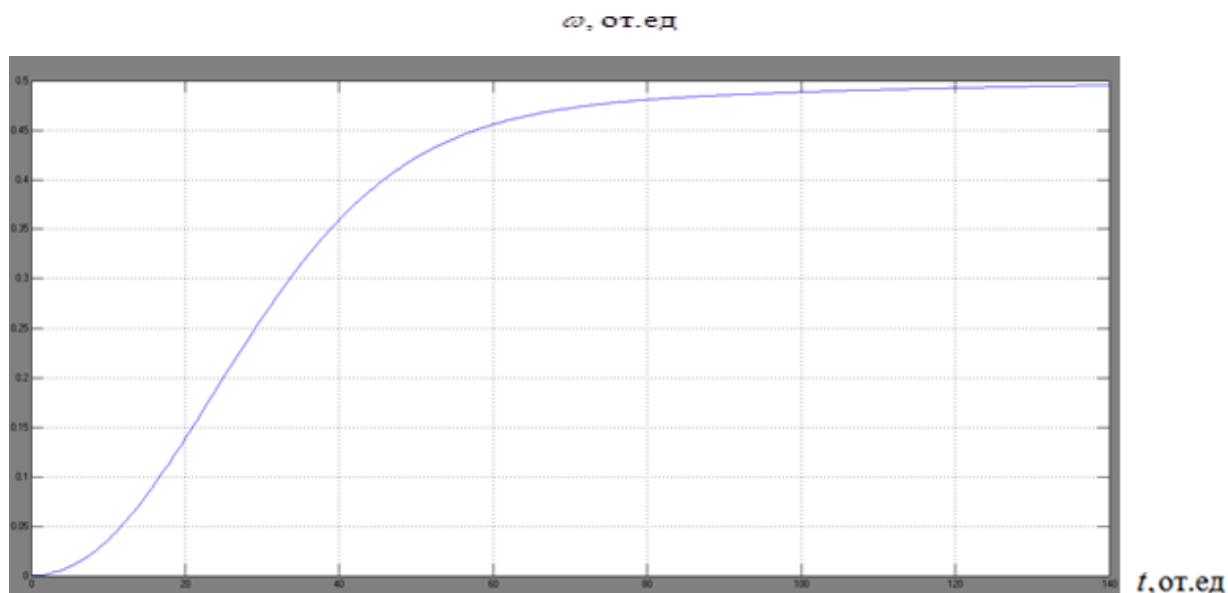


Рис.5 – Зависимость частоты вращения ротора от времени

Полученные в результате моделирования графики временных зависимостей потокосцепления (рис.4) и частоты вращения (рис.5) ротора показали, что переходный процесс плавный, без перерегулирования и длится заданное время, и в номинальном режиме система устойчива.

Кроме того, результаты моделирования были подтверждены исследованием устойчивости системы по критерию Раунса-Гурвица.

Характеристическое уравнение передаточной функции замкнутой системы в этом случае записывается в виде:

$$\lambda^4 + A_1\lambda^3 + A_2\lambda^2 + A_3\lambda + A_4 = 0; \quad (1)$$

где

$$A_1 = \frac{D}{J\omega} + a_1; \quad (2)$$

$$A_1 = \frac{4}{0,12 \cdot 151,7} + 0,01 = 2,207;$$

$$A_1 = 2,207$$

$$A_2 = \frac{D}{J\omega} a_1 + a_2 + Kb_0; \quad (3)$$

$$A_2 = \frac{4}{0,12 \cdot 151,7} \cdot 0,01 + 2,61 \cdot 10^{-4} + 42,245 \cdot 1,205 = 50,909;$$

$$A_2 = 50,909$$

$$A_3 = \frac{D}{j\omega} a_2 + a_3 + Kb_1; \quad (4)$$

$$A_3 = \frac{4}{0,12 \cdot 151,7} \cdot 2.61 \cdot 10^{-4} + 5.571 \cdot 10^{-9} + 42.245 \cdot 5.345 \cdot 10^{-3} = 0.226$$

$$A_3 = 0,226$$

$$A_4 = \frac{D}{j\omega} a_3 + Kb_2; \quad (5)$$

$$A_4 = \frac{4}{0,12 \cdot 151,7} \cdot 5.571 \cdot 10^{-9} + 42.245 \cdot 1.902 \cdot 10^{-6} = 8.038 \cdot 10^{-5}$$

$$A_4 = 8.038 \cdot 10^{-5}$$

Поскольку коэффициенты A_1 и A_2 всегда положительные, то исследуемая система будет устойчива, если коэффициенты A_3 и A_4 и определитель третьего порядка H_3 будут положительны. Последнее условие записывается в форме:

$$H_3 = A_3(A_1A_2 - A_3) - A_4A_1^2; \quad (6)$$

$$H_3 = 0,226(2.207 \cdot 50.909 - 0.226) - 8.038 \cdot 10^{-5} \cdot 2.207^2 = 25.387$$

$$H_3 = 25.387$$

Согласно этому критерию в номинальном режиме система является устойчивой.

Так как и результаты моделирования, и выполнение условий по критерию Раунса-Гурвица показывают, что в номинальном режиме система является устойчивой, то такая модернизация вполне оправдана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрические машины и приводы [Текст] : учебник / В.В. Москаленко, М.М. Кацман. – М. : Издательский центр "Академия", 2018. – 368 с. – ISBN 978-5-4468-6530-7 : 929.28 р. – 32 экз.

2. Кобозев, В.А. Электрические машины : учебное пособие / В.А. Кобозев. – Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет, 2015. – Ч. 2. Электрические машины переменного тока. – 208 с. : табл., граф., схем., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438678>. – Библиогр.: с. 199. – Текст : электронный.

**РЕАЛИЗАЦИЯ САУ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА «НАСОСНЫЕ АГРЕГАТЫ» НА
БАЗЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ DANFOSS VLT MICRO DRIVE FC-051 И
КОНТРОЛЛЕРА SIMATIC S7-1200**

Смирнов Д.А., Цыганков Ю.А.

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

Аннотация. В данной работе рассматривается инициализация соединения преобразователя частоты Danfoss VLT Micro Drive FC-051 с программируемым контроллером SIMATIC S7-1200 по протоколу MODBUS с использованием интегрированной среды разработки проектов автоматизации TIA PORTAL.

Ключевые слова: лабораторный стенд; Danfoss VLT Micro Drive FC-051; TIA PORTAL; S7-1200; MODBUS.

**IMPLEMENTATION OF THE ACS OF THE LABORATORY STAND "PUMPING UNITS"
BASED ON THE DANFOSS VLT MICRO DRIVE FC-051 FREQUENCY CONVERTER AND
SIMATIC S7-1200 CONTROLLER**

Smirnov D.A., Tsygankov Y.A.

*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*

Abstract. This paper discusses the initialization of the connection of the Danfoss VLT Micro Drive FC-051 frequency converter with the SIMATIC S7-1200 programmable controller via MODBUS protocol using the integrated automation project development environment TIA PORTAL.

Keywords: laboratory stand; Danfoss VLT Micro Drive FC-051; TIA PORTAL; S7-1200, MODBUS.

Под системой водоснабжения традиционно подразумевается комплекс сооружений, необходимых для обеспечения водой потребителей в необходимом количестве, требуемого качества.

В роли объекта исследования выступал лабораторный стенд «Насосные агрегаты», который используется для изучения базовых принципов работы и управления электроприводом насосных агрегатов, а также существующих и наиболее часто применяемых технических средств автоматизации в системах водоснабжения.

Стенд поддерживает четыре режима работы, которые выбираются положением вентиля и режимами работы двигателей. Принципиальная гидравлическая схема стенда представлена на рисунке №1.

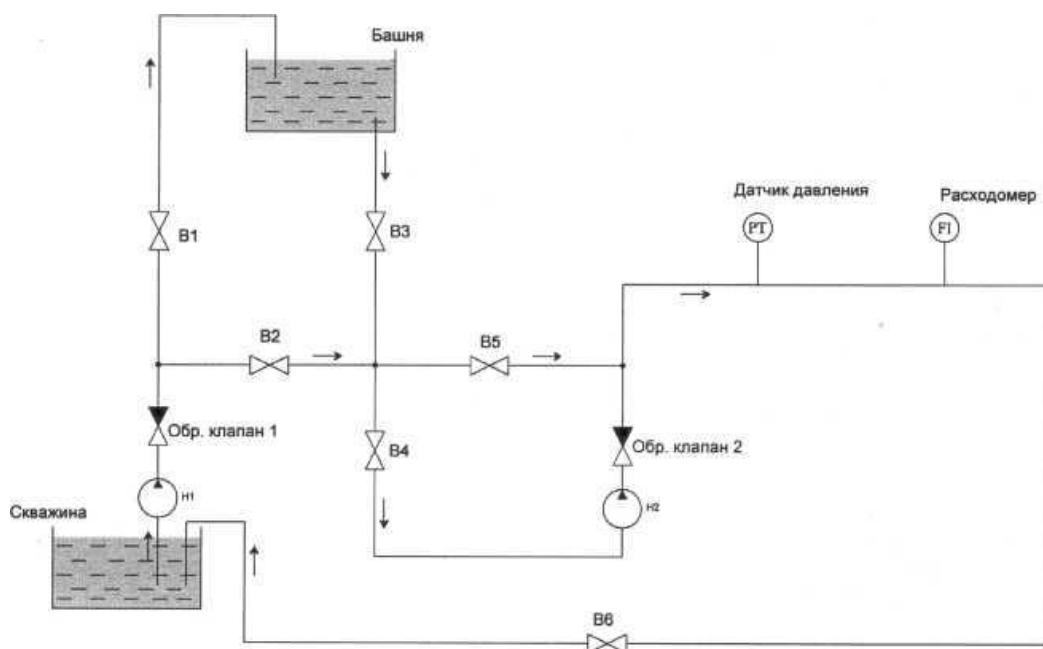


Рис. 1 – Принципиальная гидравлическая схема стенда

При использовании стенда необходимо убедиться, что область крыльчатки заполнена водой, это необходимо для предотвращения работы насоса в режиме «сухой ход». Режим «сухой ход» появляется в случае, когда область забора жидкости насосом находится выше уровня воды в баке. Одним из необходимых элементов любой системы водоснабжения, является обеспечение защиты двигателя от работы в режиме «сухой ход», потому что данный режим является причиной перегрева и выхода насоса из строя. На лабораторном стенде защита от режима «сухой ход» реализована датчиками поплавкового типа.

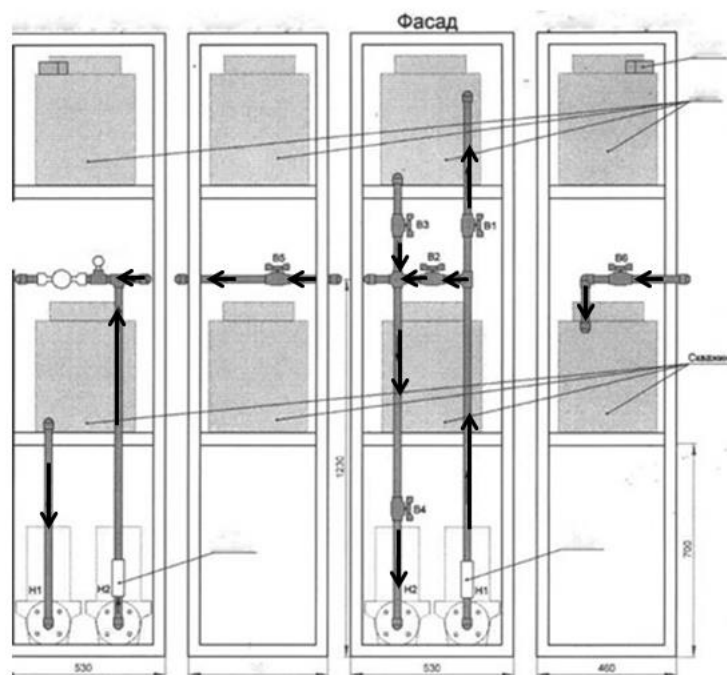


Рис. 2 – Схематическое изображение движения воды по трубам стенда

На рисунке 2 изображены схема стенда и схема движения воды по трубам стенда.

Комплекс технических средств лабораторного стенда «Насосные агрегаты» состоит из различных исполнительных механизмов и датчик, которые необходимо для управления стендом в процессе выполнения работ и переключение режимов.

Преобразователь частоты Danfoss VLT Micro Drive FC-051 – это бюджетный общепромышленный привод, который является универсальным и компактным, включает в себя несколько систем управления двигателя: векторную, скалярную. ПЧ повышает энергоэффективность и производительность систем, а также подходит для комплексной автоматизации. Привод является функциональным, надежным и удобным для пользователя.

Для автоматизации лабораторного стенда, использовали контроллер SIMATIC S7-1200 с модулем CB 1241 RS485.

Программируемый контроллер S7-1200 от компании SIEMENS умеет: решать логические задачи, задачи автоматического регулирования и управления исполнительными механизмами, выполнять математическую обработку информации поступающих с датчиков. Он имеет широкие функциональные возможности, невысокую стоимость и наличие модуля RS485. [2]

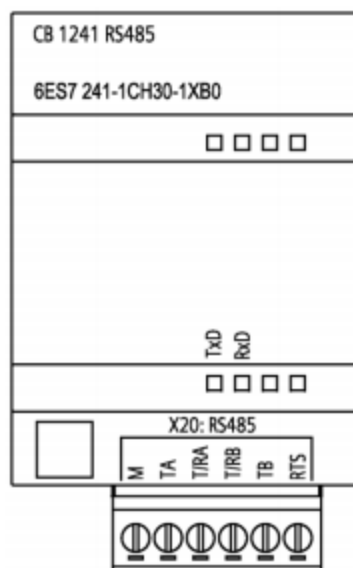


Рис. 3 – Модуль CB1241 RS485.

Параметры ПЧ FC-051 настраивали для работы в качестве slave – устройства в сети MODBUS.

Соединение ПЧ FC-051 и S7-1200 организовывали посредством MODBUS.

В ходе исследования создали проект в TIA PORTAL V14.0 – это интегрированная среда разработки ПО систем АСУ ТП, является продолжение семейства систем автоматизации Simatic компании Siemens AG. [3]

Проект содержит функциональный блок MB_COMM_LOAD (рис. 5).

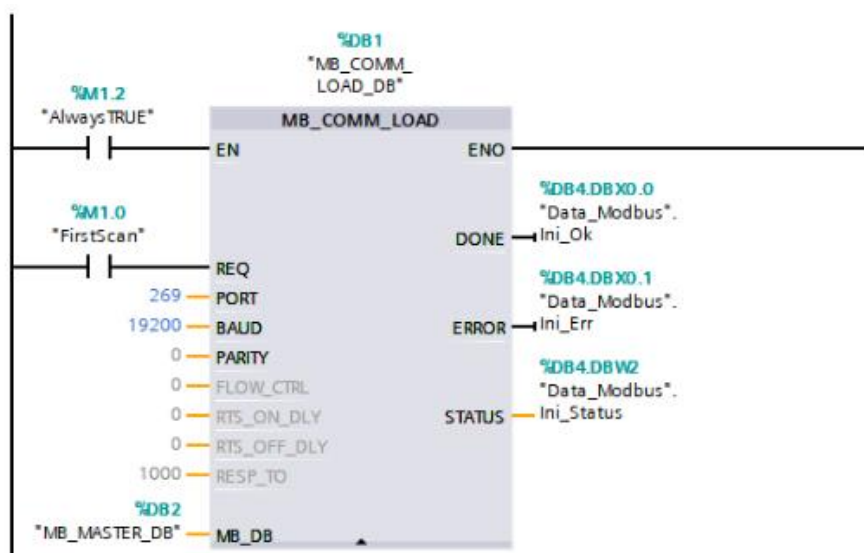


Рис. 4 – Функциональный блок MB_COMM_LOAD. Инициализация порта RS-485.

Блок MB_COMM_LOAD при переводе контроллера в режим RUN, запускает настройки связи, вносит данные в "MB_MASTER_DB" (рис.6).

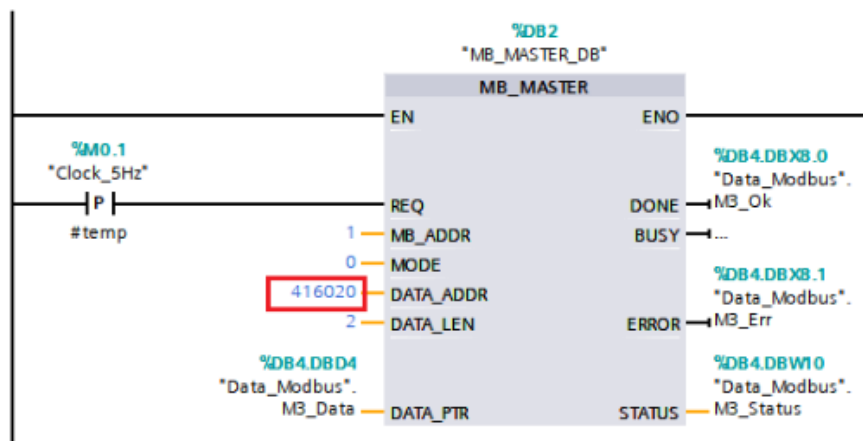


Рис. 5 – Функциональный блок MB_MASTER_DB. Опрос привода.

Для чтения данного параметра используется MODBUS функция ноль три (чтения регистров).

Блок SHR предназначен для изменения порядка слов. Порядок байтов в ПЧ и контроллере S7-1200 не одинаковый, поэтому мы использовали данный блок.

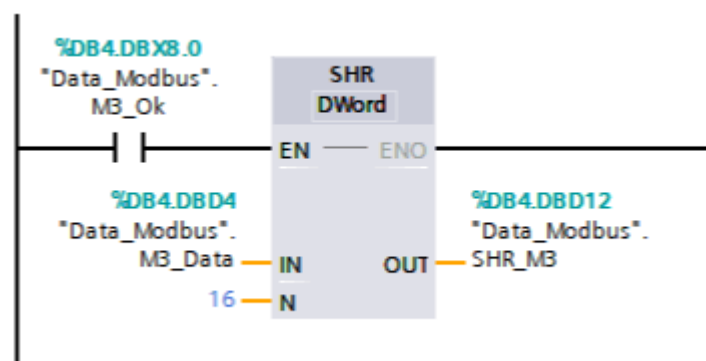


Рис. 7 – Обработка принятых данных.

Полученное значение масштабировали и переводили из целочисленного типа данных в вещественный (рис.8).

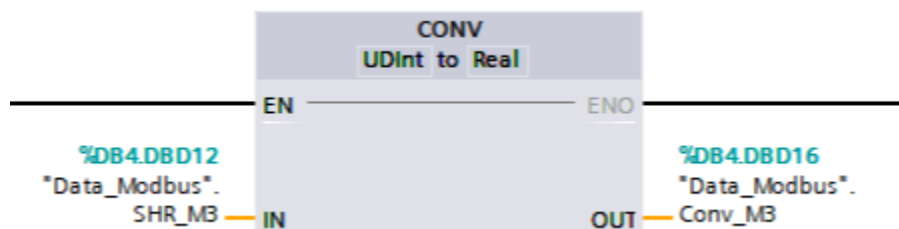


Рис. 8 – Обработка принятых данных.

Получившийся результат делили на 10.

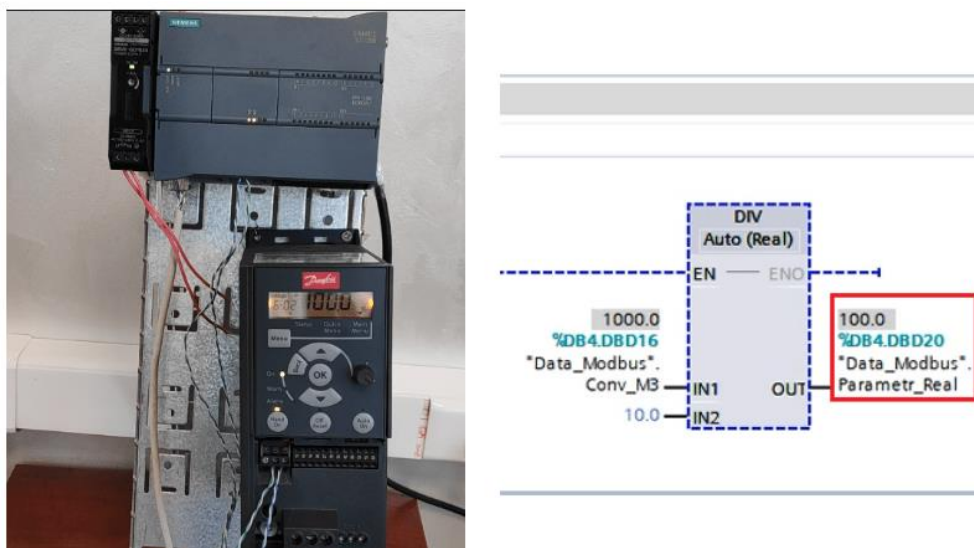


Рис. 9 – Результат работы проекта.

В результате выполнения работы было произведено соединение контроллера S7-1200 с ПЧ FC-051 по протоколу MODBUS с целью реализации HMI интерфейса для модернизации лабораторного стенда «Насосные агрегаты».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Преобразователи частоты VLT Micro Drive FC 51 | Danfoss [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.danfoss.com/ru-ru/products/ac-drives/dds/vlt-micro-drive-fc-51>. (17.07.2021)
2. Программируемые контроллеры S7-1200 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://sp-t.ru/uploads/pdfs/siemens-plk-simatic-s7-1200-rukovodstvo-po-ekspluatatsii-rus.pdf>. (17.07.2021)
3. TIA PORTAL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/TIA_Portal. (17.07.2021)

СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ СТАТОРА ДЛЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Гамбург К.С., Ковтун Н.И.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
kgsam@mail.ru, maiyamyakotina@eandex.ru*

Аннотация. В статье сравниваются между собой способы оценки потокосцепления статора для синхронного двигателя с постоянными магнитами., т.к. оценка потокосцепления статора является одной самых сложных задач в системе прямого управления моментом.

Ключевые слова: синхронный двигатель с постоянными магнитами; преобразователь частоты, прямое управление моментом, силовые транзисторы, запираемые тиристоры, потокосцепление статора.

COMPARISON OF METHODS FOR ASSESSING THE STATOR FLUX LINKAGE FOR A PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTOR.

Gamburg K.C., Kovtun N.I.

*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
kgsam@mail.ru, maiyamyakotina@eandex.ru*

Abstract. The article compares methods for assessing the stator flux linkage for a permanent magnet synchronous motor. Assessment of stator flux linkage is one of the most challenging tasks in a direct torque control system.

Keywords: permanent magnet synchronous motor; frequency converter; direct torque control; power transistors; lockable thyristors; stator flux linkage.

Статистика последних лет показывает, что синхронные двигатели с постоянными магнитами составляют серьезную конкуренцию асинхронным короткозамкнутым двигателям (АДК) для серво-приложений, т.к. они меньше по габаритам той же мощности, что и АДК и

имеют абсолютно жесткую механическую характеристику.

Основным силовым преобразователем энергии таких электроприводов являются полупроводниковые преобразователи на полностью управляемых коммутируемых элементах типа силовых транзисторов (IGBT) и запираемых тиристоров (IGCT).

Высокие динамические и эксплуатационные характеристики электроприводов обеспечиваются за счет разработки и использования новых алгоритмов с реализацией на современной микроэлектронной базе – сигнальных процессоров (DSP).

В части алгоритмического управления системы регулирования электроприводом различных производителей развиваются в одном направлении и, если на первом этапе развития (70-е годы) использовались, преимущественно, законы частотного управления типа закона М.П. Костенко с коррекцией по напряжению в области низких частот, то на втором этапе (80-е годы) признание получили алгоритмы векторного управления.

В настоящее время ряд фирм, и прежде всего, фирма АВВ поставляют на рынок преобразователи с алгоритмом «прямое управление моментом» (DTC), обеспечивающим динамические характеристики электроприводов переменного тока для тяжелых условий эксплуатации не хуже и даже лучше, чем динамических характеристик электроприводов постоянного тока [1].

Задачей прямого управления моментом является обеспечение быстрой реакции электромагнитного момента двигателя на управляющее воздействие. В отличие от традиционных систем векторного управления, где изменение момента производится путем воздействия на ток статора, который, таким образом, является управляемой величиной, в системе с прямым управлением моментом управляемой величиной является потокосцепление статора.

Оценка потокосцепления статора является одной самых сложных задач в системе прямого управления моментом. В последнее время разработаны различные системы оценки потокосцепления статора с использованием коррекции по току, обратной связи и фильтров низких частот.

В статье предлагается сравнить между собой способы оценки потокосцепления статора для синхронного двигателя с постоянными магнитами.

Был проведен обзор исследований, проводимых современными учеными в области систем оценки потокосцеплений статора. Ниже представлены результаты моделирования систем оценки потокосцепления статора, которые получились у зарубежных ученых [2,3].

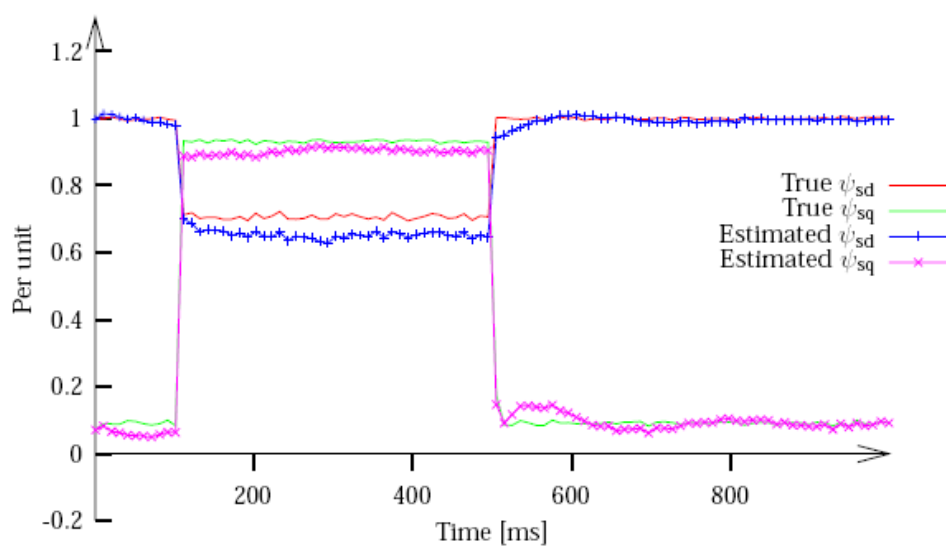


Рис. 1 – Значение оцененных и реальных потокосцеплений статора по осям d и q в системе оценки с использованием корректировки по току

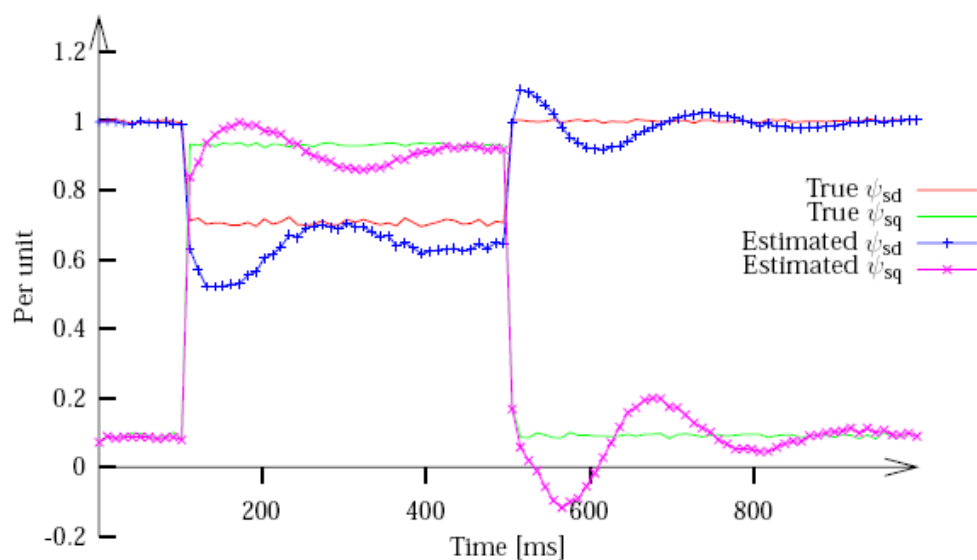


Рис. 2 – Значение оцененных и реальных потокосцеплений статора по осям d и q в системе оценки с использованием интегратора с насыщенной обратной связью

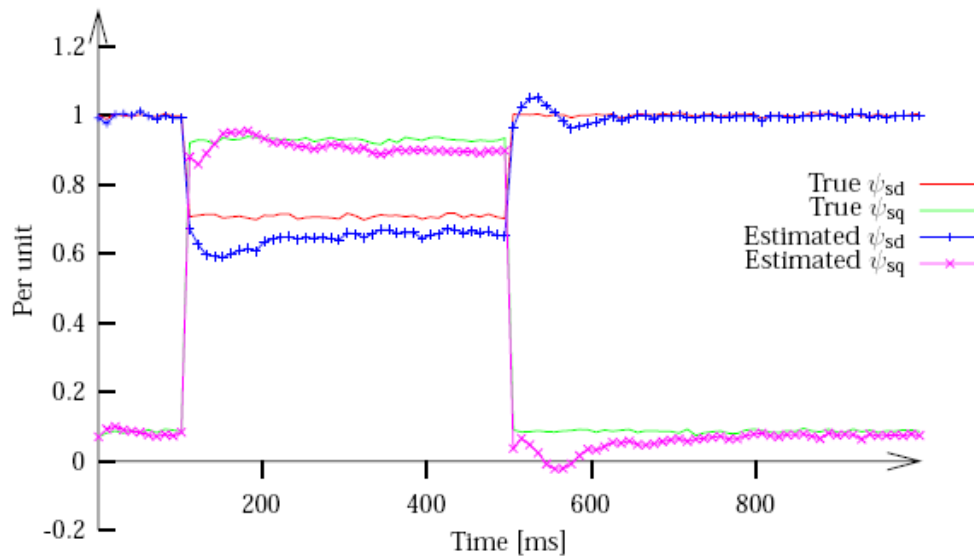


Рис. 3 – Значение оцененных и реальных потокосцеплений статора по осям d и q в системе оценки с использованием интегратора с ограничением по амплитуде

Из графиков видно, что в области низких частот лучше работают системы оценки потокосцеплений с использованием фильтра низких частот. При подаче момента нагрузки система оценки потокосцеплений с использованием коррективки по току отрабатывает быстрее и с меньшим перерегулированием.

Для исследования были выбраны СДПМ серии 1FT6132-6WD7 и АДК серии 1LA9 183-2AA180M фирмы Siemens, имеющие примерно одинаковую мощность.

Сравним классические и перспективные способы оценки потокосцепления статора. Эту величину невозможно померить напрямую, а значит приходится строить наблюдатель состояний, от правильной работы которого зависит работоспособность всей системы прямого управления моментом.

Классически потокосцепление статора оценивается с помощью выражения:

$$\psi_s^{\alpha\beta} = \int (u_s^{\alpha\beta} - R_s \cdot i_s^{\alpha\beta}) dt; \quad (1)$$

Математическая модель блока оценки потокосцеплений статора в неподвижной системе координат представлена на рис. 1.25.

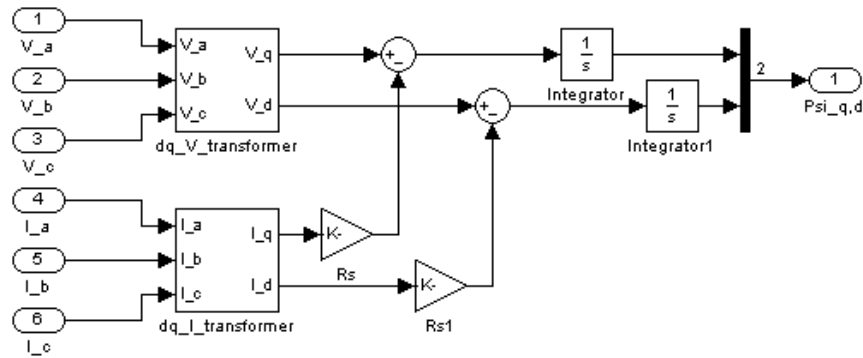


Рис. 4 – Математическая модель блока оценки потокосцеплений статора в неподвижной системе координат

Все графики, приведенные ниже, построены в неподвижных осях координат.

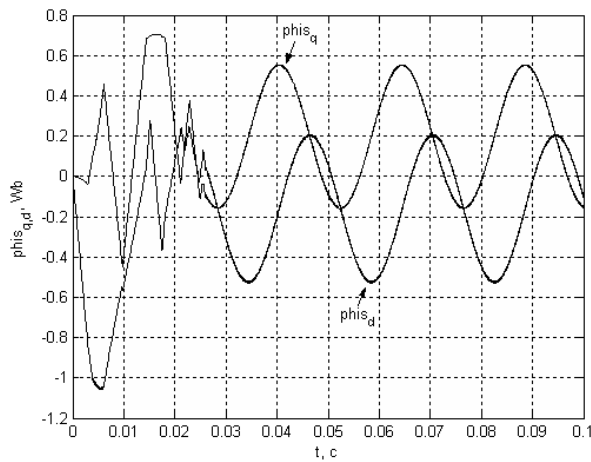


Рис. 5 – Оцененное значение потокосцеплений статора СДПМ

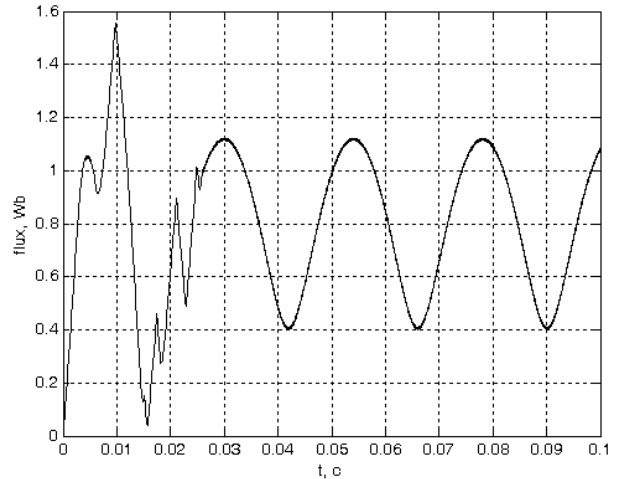


Рис. 6 – Оцененное значение модуля потокосцепления статора СДПМ

Из графиков видно, что оценённое значение потокосцепления статора имеет синусоидальную форму.

Одним из перспективных методов является метод оценки с помощью модифицированного интегратора с ограничением по амплитуде.

Соберем структурную схему оценки потокосцепления (см. рис.7) в Matlab 6.

Зададим время дискретизации T , равное 0.0001 с, и значение ограничения потокосцепления L , равное 0.7 Вб. Структурная схема и графики оцененных потокосцеплений приведены на рис.7, 8 и 9, соответственно.

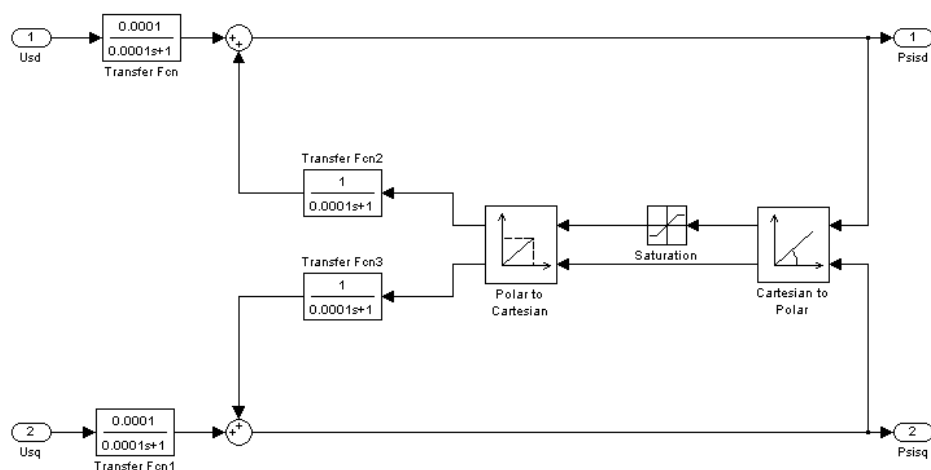


Рис. 7 – Модель оценки потокосцеплений статора с использованием интегратора с ограничением по амплитуде

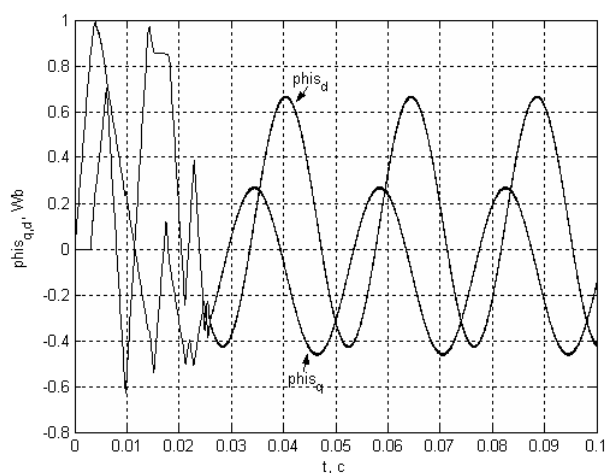


Рис.8 Оцененное значение потокосцеплений статора СДПМ

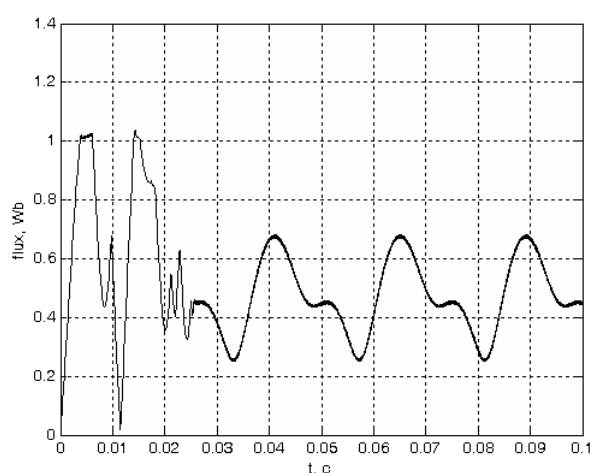


Рис.9 Оцененное значение модуля потокосцепления статора СДПМ

Из графиков видно, что оценённое значение потокосцепления статора также имеет синусоидальную форму, что позволяет использовать этот метод для косвенной оценки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наридицкий, А. Г. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов/ А.Г. Наридицкий,-СПб: Питер. 2004. 132с.Текст: непосредственный.
2. Luukko, J. Direct torque control of permanent synchronous machines – analyses and implementation/. J. Luukko. - Lapeenranta: 2000. -172p. – Text: direkt
3. Niemela, M. Position sensorless electrically excited synchronous motor drive for industrial use based on direct flux linkage and torque control/. M. Niemela. – Lapeenranta - 1999.- 79p. –

ВИЗИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И КОНТРОЛЬ КРУПНОСТИ ФРАКЦИИ ПОСЛЕ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Гордиенко О.Е.¹, Поleshenko Д.А.²

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»

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

² Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (Губкинский филиал), 309186

Российская Федерация, Белгородская обл. г. Губкин, ул. Комсомольская, 16

oleg.gord.98@gmail.com, po-dima@yandex.ru

Аннотация. Одним из главных поставщиков полезных ископаемых, является Горно-обогатительный комбинат. В работе затронута тема по добыче фракции открытым способом, а именно в карьере. Началом технологического процесса, является извлечения полезных минералов из земной коры. Достигается путем проведения совокупности производственных процессов по отделению скальных горных пород от массива с помощью взрыва, а именно буро взрывными работами.

Показателем качественно проведенных буровзрывных работ являются равномерный гранулометрический состав взорванной горной массы — процент осколков негабаритного размера при этом должен быть минимальным. Обычно он не превышает 5-10%, но может достигать 30% при неблагоприятных условиях отбойки. В работе предлагается оценивать данный показатель с помощью нейронных сетей.

Ключевые слова: буровзрывные работы; визиометрический анализ; сегментационные нейронные сети.

VISIOMETRIC ANALYSIS AND CONTROL OF THE SIZE OF THE FRACTION AFTER DRILLING AND BLASTING OPERATIONS

Gordienko O.E.¹, Poleshenko D.A.²

¹ 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

² Branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, Belgorod region, Russia, Gubkin

oleg.gord.98@gmail.com, po-dima@yandex.ru

Abstract. *One of the main suppliers of minerals, is the mining and processing plant. The topic will touch on the topic of extraction of fractions by open-pit method, namely in the quarry. The beginning of its technological process, is the extraction of useful minerals from the earth's crust. It is achieved by carrying out a set of production processes to separate the rocks from the massif by means of an explosion, namely drilling and blasting.*

The indicator of qualitatively carried out drilling and blasting works is the uniform granulometric composition of the blasted rock mass - the percentage of fragments of the oversized size in this case should be minimum. Usually it does not exceed 5-10%, but can reach 30% under unfavorable excavation conditions. The paper proposes to estimate this indicator using neural networks.

Keywords: drilling and blasting operations; visiometric analysis; Segmentation neural networks.

Способы решения поставленной задачи:

Максимально допустимый размер кусков, на который рассчитаны перепускные выработки, погрузочно-доставочные и транспортные средства и все остальное оборудование, является габаритным (кондиционным) размером. Он изменяется от 200 до 1000 мм и более.

Крупность материала оказывает влияние на выбор вида транспортных машин, параметров (размеров, прочности) их конструктивных элементов, взаимодействующих с грузом. Например, пылевидные и порошкообразные грузы требуют применения транспортных средств специального исполнения, предотвращающих распыление и связанные с этим потери груза при транспортировании. Также негабарит в дальнейшем ведет к ухудшению технологического процесса. Например, происходит повышенный износ дробилок, из-за нерассчитанных на перегрузки на них. Так же само измельчение, является одной из экономически затратных операций. Так как процент потребления электроэнергии дробилками составляет до 65 % всех затрат.

Следовательно, как актуальной, практически значимой и экономически выгодной задачей, является мониторинг и контроль качества гранулометрического состава руды, после проведения буровзрывных работ.

Мониторинг крупности кусков после буровзрывных работ будет осуществляться с помощью сегментирования изображений. Сегментация представляет собой процесс разделения изображения на составляющие части или объекты в изображении, то есть наборы пикселей. Чтобы найти и идентифицировать границы объектов в изображении, пиксели оцениваются по некоторым критериям однородности, таким как цвет, интенсивность или текстура.

Существует два основных класса методов сегментирования.

- Классические подходы
- Методы, основанные на AI

Классический метод

Классические методы определения размера частиц руды, включая искусственный отсев и физическое осаждение, обладают высокой адаптируемостью и широко используются. Однако они требуют огромных человеческих ресурсов, и на результаты обнаружения легко влияют субъективные факторы рабочих. В последние годы были предложены методы автоматического определения размера частиц руды, основанные на традиционной обработке изображений, в том числе метод водораздела и его улучшенные модификации, метод пороговой сегментации.

Классические методы сегментации изображений включают в себя методы сегментации на основе пороговых значений, краев и областей. Пороговые методы - это простейшие методы, в которых сегментация основана на выборе пороговых значений для преобразования изображения шкалы серого в двоичное изображение, примерами являются Otsu, итеративное определение порога, глобальное определение порога, локальное определение порога и многопоточное определение. Один из способов использования этой техники - алгоритм разделения и слияния. Методы, определения краев, преобразуют картинку в двоичное изображение края, используя резкие изменения серых тонов в изображении, примерами являются Canny, Sobel и активный контур. Методы, основанные на области, делят все изображение на подобласти, до тех пор, пока не могут быть присвоены метки, а затем объединяет соседние подобласти с одинаковой меткой путем их объединения примерами являются водораздел, преобразование N-минимумов.

Основными недостатками данных методов является необходимость в жестко запрограммированных правилах или атрибутах, которым должна удовлетворять область выделения, чтобы ей была назначена конкретная метка. Кроме того, очень сложно представить сложные классы. Для правильного изучения необходимых представлений этих сложных классов необходимы методы извлечения признаков и оптимизации.

Методы, основанные на AI

Машинное обучение - это научное исследование алгоритмов и статистических моделей, которые компьютерная система использует для эффективного выполнения конкретной задачи без явных инструкций, основанных на шаблонах и выводах. Среди методов машинного обучения наиболее часто используются методы, связанные с нейронной сетью, потому что с нейронной сетью значительные иерархические отношения в данных могут быть обнаружены

алгоритмически без трудоемких ручных функций, поэтому их легче применять для сегментации.

Одним из широко развивающихся направлений в нейронных сетях, является автоэнкодеры, большинство существующих методов семантической сегментации используют пару кодер-декодер в качестве ядра своей сетевой архитектуры. Здесь кодер кодирует информацию в пространство признаков, а декодер отображает эту информацию в пространственную категоризацию для выполнения сегментации.

Распространёнными сетями сегментации является:

Link-net семантическая сегментация включает маркировку каждого пикселя изображения, и поэтому сохранение пространственной информации становится чрезвычайно важным.

Ключевым компонентом SegNet, является сеть декодеров, которая состоит из иерархии декодеров, соответствующих каждому кодеру. Из них соответствующие декодеры используют индексы максимального объединения, полученные от соответствующего кодера, для выполнения нелинейной повышающей дискретизации своих входных карт характеристик.

U-Net состоит из двух частей: сжимающейся части для вычисления характеристик и расширяющейся части для пространственной локализации объектов на изображении. В данной модели не используется полносвязный слой. Как следствие, число параметров модели уменьшается, и ее можно обучить с помощью небольшого набора данных.

FPN является пирамида изображений в традиционной обработке изображений, таких как пирамиды изображений различных масштабов, используемые при построении элементов просеивания. Основная идея FPN заключается в повышении надежности модели для ввода изображений разных размеров и объектов разных размеров в задаче обнаружения цели.

После сегментации необходимо будет по структурированной поверхности изображения произвести выполнение автоматической оценки размеров выделенных гранул, исследуется их распределение по размеру, как вариант строится рабочая гистограмма распределения крупности (или площади) объектов.

При обработке таких изображений производится выделение каждого видимого куска дробленой руды и рассчитываются следующие параметры: площадь куска, его главная ось и наибольший размер куска, определяемый в направлении, перпендикулярном главным осям выделенных областей. По полученным результатам будет строится гистограмма распределения площадей кусков дробленой руды по их размерам.

После получения представительного массива данных о размерах зерен (кусков) руды в пробе будет проводится математическое описание экспериментальной кривой распределения

кусков руды по крупности. Целью дальнейшего исследования является выбор и настройка как семантической сегментационной нейронной сети, так и способов оценки качества руды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М.С.Великанов, А.Б. Анзина, С.В. Лаврушкин, Д.С. Ватолин. Нейросетевой алгоритм поиска областей открытия/закрытия в видеопоследовательностях.
2. Muhammad Hamza, AsadAbdulBais Weed detection in canola fields using maximum likelihood classification and deep convolutional neural network.
3. Vijay Badrinarayanan; Alex Kendall, SegNet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation
4. Abhishek Chaurasia, Eugenio Culurciello, Representations for Efficient Semantic Segmentation
5. Морозов В.В., Повышение эффективности рудоподготовки на основе применения непрерывного визиометрического анализа гранулометрического состава продуктов дробления и грохочения

ВЫБОР СРЕДСТВА АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА ПРИ ПЕРЕЛИВЕ МЕТАЛЛА ИЗ СТАЛЬКОВША В ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОВШ

Коврижных Ю.А.^{1, 2}, Полещенко Д.А.³

¹Россия, г. Старый Оскол АО «Оскольский электрометаллургический комбинат им. А.А. Угарова»

² Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»

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

³ Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (Губкинский филиал), 309186
Российская Федерация, Белгородская обл. г. Губкин, ул. Комсомольская, 16

Аннотация. В данной статье рассмотрен вибрационный метод отсечки шлака при сливе металла из стальковша в промежуточный ковш. Представлены результаты анализа вибрационного сигнала и планирование дальнейшей работы над ним.

Ключевые слова: стальковш; промковш; вибрация; шлак.

THE CHOICE OF A MEANS OF ANALYZING THE VIBRATION SIGNAL PLUM STEEL FROM LADLE IN THE TUNDISH

Kovrizhnykh Y.A., Poleschenko D.A.

¹ Russia, Stary Oskol JSC "Oskol Electrometallurgical Combine named after A.A. Ugarov"

² 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

³ Branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University
"MISIS" in Gubkin, Belgorod region, Russia, Gubkin

Abstract. This article discusses the vibrating method of cutting off slag when plum steel from ladle in the tundish. The results of the analysis of the vibration signal and the planning of further work on it are presented.

Keywords: ladle; tundis; vibration; slag.

Существует несколько основных способов выплавки стали: в печах мартена, в конверторе и в электродуговых печах. Плавка стали в ДСП обладает рядом преимуществ перед конвертором и мартеновским способом производства. Использование электрического тока, дает возможность расплавить материал практически любого состава, малая погрешность при

регулировании температуры стали и его химического состава позволила развиваться промышленности с использованием ДСП.

Расплавленной и доведенной до необходимого химического состава стали необходимо придать форму для её кристаллизации и последующей обработки. Самый распространенный способ на установке непрерывной разливки стали (УНРС). После слива металла из ДСП в стальковш и при последующих обработках на выпечных установках, металл сверху покрывается коркой шлака, который необходим для защиты жидкого металла от контакта с воздухом.

Процесс слива металла из сталеразливочного ковша в промежуточный ковш является важным технологическим процессом, влияющим на качество литой заготовки и в последующем на готовую продукцию. В процессе слива металла (1) из стальковша (2) через сливную трубу (3) в промковш (4) важным условием является момент закрытия шибера (5) стальковша для исключения попадания шлака (6) промковш откуда он может попасть в кристаллизатор (10) и в литую заготовку (11) что приведет к её браку (рис 1)

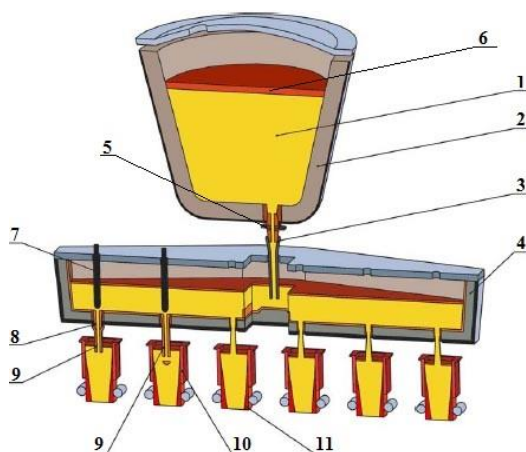


Рис. 1 – Слив стали из стальковша в промежуточный ковш

При отсутствии какой либо системы оператор фиксирует момент выхода шлака из стальковша и закрывает шибера. Но при данном способе уже присутствует момент попадания шлака в промежуточный ковш. Существует 5 способов автоматизации процесса закрытия шибера.

- Гравиметрический – основан на косвенном расчете массы шлака в стальковше, и при взвешивании последнего определение момента закрытия шибера. Но он не дает 100% гарантии исключения попадания шлака, или могут возникнуть потери годного металла в стальковше.
- Поплавковый – основан на свойстве разной плотности шлака и металла. При окончании слива металла, в стальковш заносится специальный поплавок, который находится

на границе сред шлак – металл и при окончании слива он затыкает шибер не давая попасть шлаку в промковш [1]. Но данный способ не применим к сливу металла стальковш – промковш из-за технических особенностей

- Электромагнитный – основан на разной электропроводности шлака и металла. При попадании шлака в струю металла у неё падает электропроводность что можно зафиксировать и закрыть шибер [2]. Но данный способ является очень дорогостоящим и не обладает способностью раннего обнаружения шлака в струе металла

- Инфракрасный – Основан на способности горячего металла излучать инфракрасный свет. На место входа сливной трубы в жидкий металл промежуточного ковша направляется инфракрасная камера. В момент выхода шлака из сливной трубы, он разрушает верхний защитный слой тем самым оголяя горячий металл и увеличивая горячее инфракрасное излучение, и по данному увеличению закрывается шибер стальковша [3]. Данный способ не обладает способностью раннего обнаружения шлака в трубе.

- Вибрационный – основан на ламинарности истекаемого потока металла. При окончании слива металла образуется воронка, которая нарушает ровное течение потока, что приводит к изменению вибрации сливной трубы [4]. Но существующие методы не позволяют эффективно анализировать вибрационный сигнал для раннего обнаружения изменения вибрации трубы.

Учитывая вышесказанное, предметом исследования явилась разработка метода анализа вибраций сливной трубы для заблаговременного обнаружения шлака при сливе стали из стальковша в промковш.

Для получения данных о вибрации сливной трубы на нее были установлены 3 датчика вибрации. Каждый датчик имел разную чувствительность, для определения лучших показателей. Процесс съема данных начинался при массе стальковша 20 т. Заканчивался по сигналу оператора о выходе шлака в промежуточный ковш. Тем самым мы получали данные о ламинарном истечении металла, образовании воронки, попадании в нее шлака, и проходе шлака через сливную трубу. Таким образом были получены данные о 15 плавках.

Для обработки сигнала и выявления закономерностей был проведен анализ двенадцатью статистическими методами обработки сигнала, для выделения характерных особенностей, соответствующих истечению шлака [5-7]. На все методы подавался одинаковый сигнал виброускорения с манипулятора сливной трубы. Большинство из них не дали никаких значений так как в рабочем металлургическом цеху имеется огромное количество различного оборудования, которое накладывает помехи, соизмеримые по амплитуде и частоте с сигналами вибрации.

Среди прочих стабильные результаты показали методы анализа сигнала при помощи спектральной плотности мощности, анализа энтропии сигнала и нейросетевого анализа данных. Данные методы были подвергнуты дополнительному анализу и проверке.

В результате проведенного анализа сигнала при помощи нейросети было определено, что нейросетевой аппарат хорошо работает на обучающей выборке, но при другом сигнале (марке стали, скорости) возникают ложные срабатывания или система не срабатывает вовсе.

Спектральная плотность мощности показала падение амплитуды в каждом эксперименте. Но провести между ними зависимость так и не удалось. В каждом новом эксперименте информативные частоты были различные.

Стабильным во всех опытах оказался метод анализа энтропии сигнала. Но результирующее изменение падения частоты оказалось не велико и в связи с этим было необходимо устанавливать два критерия срабатывания образования воронки. Данные критерии позволили достичь остатка металла в стальковше на уровне до 0.5 тонн – с вероятностью 73 %, до 1.5 тонн – с вероятностью 13 % и до 4 тонн – с вероятностью 13 %.

Дальнейшие исследования будут проходить с использованием более мощного инструмента в области искусственного интеллекта, в анализе данных, в частности машинное и глубокое обучение. Благодаря своим возможностям в сфере классификации, распознавания, кластеризации и выявления аномалий данные способы покажут себя лучше, чем классические способы обучения нейронных сетей. Возможность самообучения позволит распознавать образование воронки в стальковше на ранее не изученных параметрах, которые не входили в обучающую выборку, что позволит работать системе автономно без корректировки программы под новые параметры. При помощи современных функций обработки от помех и фильтрации сигнала от возмущения на датчики, которые исходят от работающего оборудования в цеху, будет создана программа для улучшения сигнала подаваемого на искусственный интеллект. В совокупности, данные изменения позволят улучшить систему обнаружения воронки в стальковше, что позволит сливать весь металл из стальковша и исключить попадание шлака в промежуточный ковш.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устройство для отсечки шлака в конвертере: пат. 2179191 Рос. Федерация. № 2000131736/09; заявл. 22.02.2000; опубл. 10.02.2002.
2. Method and a device for detecting slag: пат. US 20060219052 Китай. US 10/560,089; заявл. 7.06.2004; опубл. 5.10.2006.
3. Molten steel outflow automatically controlling device: пат. US 4222506 Китай. US 05/851,773; заявл. 15.11.1977; опубл. 16.09.1980

4. Slag detector for molten steel transfer operations: пат. US 6737014 Китай. US 09/803,607; заявл. 9.03.2001; опубл. 18.05.2004.
5. 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.
6. 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.
7. Банк лекций [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://siblec.ru/index.php>

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СЛУЖБЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ КЛИЕНТОВ КОМПАНИИ ПРОВАЙДЕРА ИНТЕРНЕТ-ПЛАТЕЖЕЙ

Драняева Е.П., Ковтун Н.И.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
elena.dr.00@yandex.ru, kovtun-n-i@yandex.ru*

Аннотация. Эффективная работа службы технической поддержки клиентов в любой компании сегодня невозможна без автоматизации. Разработка и внедрение информационной системы в деятельность службы техподдержки позволит заявкам клиентов оперативно поступать в работу; сотрудникам, предоставляющим поддержку, не нужно будет переключаться между разными программами и совершать сотни рутинных операций за день, что позволит сосредоточиться исключительно на обслуживании клиентов. Руководство компании получит возможность лучше контролировать работу сотрудников, повысить результативность их работы, упростить процесс получения аналитических данных по работе службы поддержки и формирования различных отчетов и оптимизировать бизнес-процессы в компании.

Ключевые слова: процессинговая компания; диаграмма компонентов; диаграмма вариантов использования; информационная система.

DESIGN OF THE AUTOMATION SYSTEM OF TECHNICAL SUPPORT SERVICE FOR THE COMPANY OF THE INTERNET PAYMENT PROVIDER

Dranyaeva E.P., Kovtun N.I.

*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
elena.dr.00@yandex.ru, kovtun-n-i@yandex.ru*

Abstract. The effective work of the customer support service in any company today is impossible without automation. Development and implementation of an information system in the activities of the technical support service will allow customers' requests to quickly go into work; support staff will not need to switch between different programs and complete hundreds of routine

operations per day, so that they can focus solely on customer service. The company's management will be able to better control the work of employees, improve their performance, simplify the process of obtaining analytical data on the work of the support service and generating various reports, and optimize business processes in the company.

Keywords: processing company; component diagram; use case diagram; information system.

Процесс цифровизации экономики за последние годы заметно ускорился, активно развивается индустрия платёжных технологий, все больше фирм подключают услуги процессинговых компаний.

Процессинговая компания — это провайдер, который полностью берёт на себя процесс приёма платежей на сайте. Данная компания является посредником при осуществлении безналичных платежей между несколькими сторонами, которыми могут являться: интернет-магазин и покупатель; многопользовательская игра с возможностью внутриигровой покупки и ее игроки и т.п. [1]

Процессинговая IT-компания ООО «МПЦ» обслуживает денежные транзакции, проходящие через интернет-магазины — осуществляет переадресацию, заботится о безопасности и чеке. За это с каждого платежа она забирает себе фиксированный процент.

Должностные лица в компании сгруппированы в отделы на основе вида выполняемой работы. Ежедневно в отдел технической поддержки поступает большое количество вопросов, требующих консультации — это могут быть вопросы о процентной ставке компании, количестве и описании тарифов, правилах регистрации и заключения договора, этапах синхронизации интернет-ресурса клиента и процессинговой организации, о не поступлении средств на счет и др.

Рассмотрим процесс обработки запроса клиента с точки зрения консультанта технической поддержки. Под клиентом в данном случае подразумевается интернет-сервис, принимающий платежи от пользователей. Именно он заключает договор с процессинговой компанией.

Сначала консультант получает звонок/письмо клиента, затем, придерживаясь рабочих инструкций, содержащихся в документе формата .docx, выбирает стратегию ответа, просматривает информацию о платежах в информационной системе. Для этого он вручную запускает подготовленные в СУБД запросы, затем формулирует и сообщает/отправляет ответ клиенту, после чего спрашивает, нужны ли уточнения по запросу. Если не нужны, то вопрос считается закрытым.

Иногда возникают ситуации, когда нужно перевести вопрос на вышестоящего сотрудника (менеджера) или отправить в доработку программисту. Сегодня в компании этот процесс организован только по электронной почте.

В результате анализа предметной области было выявлено, что обработка вопросов клиентов слабо автоматизирована: при обработке звонков и писем консультанту приходится постоянно обращаться за дополнительными данными в информационную систему компании. Информационная система неоднородна – часть информации находится в базе данных компании, например, записи о платежах и кошельках. Другая же информация, например, перечень сотрудников и клиентов, хранится в программе 1С:Предприятие. Информация о потенциальных клиентах находится в файле Excel в облачном хранилище. Таким образом, сотрудникам приходится одновременно пользоваться несколькими приложениями и иметь несколько учетных записей.

Часто для определения класса вопроса и порядка действий для ответа консультанту приходится вручную искать нужные разделы в инструкции, так как каждый конкретный вопрос имеет собственную процедуру ответа; число заявок и структура вопросов в течение дня у консультанта величины непостоянные – все это снижает скорость и качество обработки заявок.

Не ведется никакой статистики по работе консультантов по обработанным вопросам. Менеджер составляет отчеты, основываясь только на информации, полученной по электронной почте.

Предлагается разработать информационную систему, которая автоматизирует ответ на вопрос клиента, позволит отслеживать статистические показатели, а также даст возможность клиентам отправлять вопрос в удобной форме на сайте процессинговой компании. Система должна включать себя модуль автоматической классификации вопроса; форму для заполнения клиентом на сайте; базу данных с информацией о платежах и вопросах; а также интерфейс для простого и безопасного взаимодействия сотрудников с данными.

Для описания концептуальной модели бизнес-процесса отдела технической поддержки была построена диаграмма вариантов использования, которая описывает функциональное назначение разрабатываемой системы (рис. 1).

В качестве актеров были выделены консультант, клиент и менеджер. Основной функционал предназначен для консультанта и включает:

- мгновенное получение заготовленного ответа и предписанного алгоритма действий на основе анализа вопроса;

- получение из базы данных компании информации, необходимой для ответа на вопрос клиента (это может быть информация о клиенте, платеже, кошельке, существующих тарифах для сотрудничества);
- внесение в БД записей о новых клиентах и обработанных вопросах для статистики;
- формирование документа, необходимого при переводе вопроса на отдел разработки.

Отдельный функционал предусмотрен для менеджера и заключается в просмотре статистики.

Клиент не имеет доступа к основным функциям. Его связь с ИС заключается только в отправке формы с вопросом для последующего включения в базу данных «Вопросы».

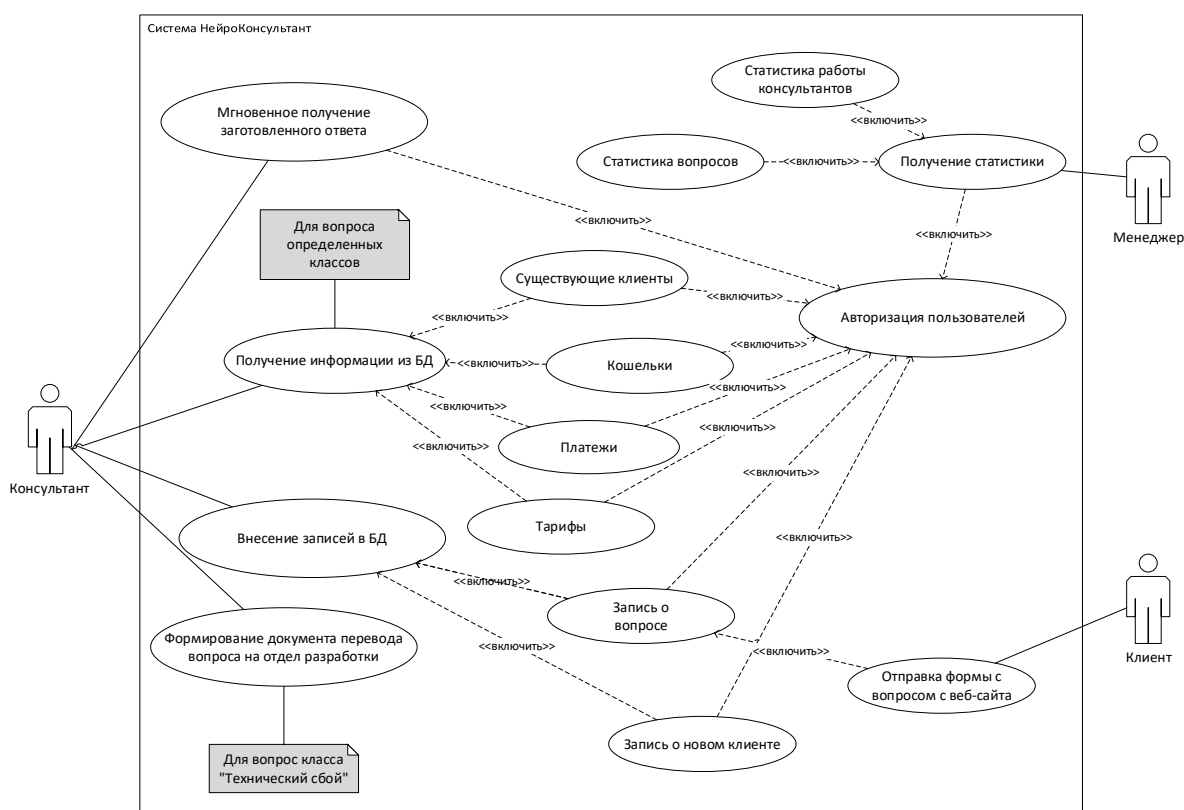


Рис. 1 – Диаграмма вариантов использования ИС

Разрабатываемая ИС будет строиться по модульному принципу для более высокой надежности и качественной реализации. [2] Взаимосвязь между модулями схематично изображена на диаграмме компонентов (рис. 2).

На клиентской стороне предусмотрен модуль с заполняемой формой для автоматизации получения вопроса. Он будет находиться на сайте компании и открываться

через любой веб-браузер. Также вводится модуль получения доступа с ПК сотрудника – сотрудник будет вводить свои данные для подключения к базе данных.

На сервере находятся все остальные модули: классификации, взаимодействия с таблицами и создания документа для разработчиков. Необходимость наличия последнего модуля предусмотрена ситуациями, когда вопрос требует вмешательства программистов. Он будет включать форму технического задания, которое сохраняется в документ MS Word. Сотрудникам не придется заниматься лишним редактированием и форматированием.

Модуль классификации предполагает анализ полученного на вход вопроса и автоматическое определение его темы («класса») с последующим занесением в базу данных.

Модуль взаимодействия с таблицами позволит отображать таблицы в приложении на персональном компьютере сотрудника, что даст возможность просматривать и редактировать данные. Безопасность при этом сохраняется благодаря разграничению прав на редактирование для разных типов сотрудников: менеджер имеет расширенные права по сравнению с консультантом.

Для реализации единого хранилища информации предлагается использовать СУБД MySQL, которая является не только безопасным и простым, но и бесплатным инструментом.

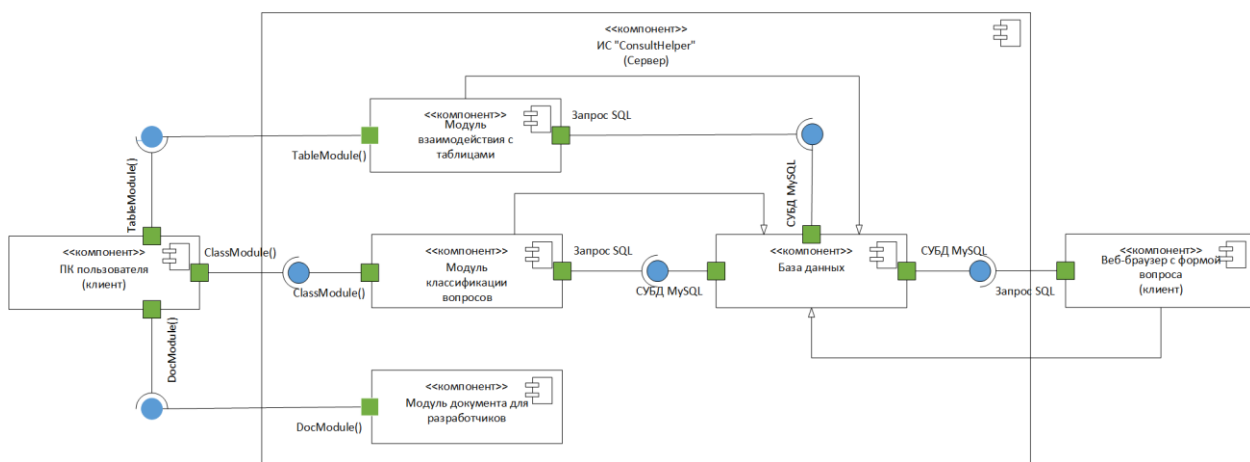


Рис. 2 – Диаграмма компонентов ИС

Разрабатываемая система позволит сократить время обработки вопроса, повысит точность ответов, предоставит возможность следить за статистическими показателями работы отдела, что приведет к дальнейшим улучшениям производительности всей организации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Финансовое моделирование в фирме : учебник : [16+] / Д. Эрнст, Й. Хэкер, М.А. Федотова и др. ; под общ. ред. С.Ю. Богатырева ; пер. с нем. А.А. Новоселовой, А.М. Ахметовой; Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации. – Москва:

Прометей, 2020. – 295 с. : схем., табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=612066>

2. Чернышов, В.Н. Системный анализ и моделирование при разработке экспертных систем: учебное пособие / В.Н. Чернышов, А.В. Чернышов ; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2012. – 128 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277638>

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ С УЧЕТОМ СТАЖИРОВОК СТУДЕНТОВ

Ковтун Н.И., Лазарева Т.И.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
kovtun-n-i@yandex.ru, tatylaz@mail.ru*

Аннотация. Традиционный подход к составлению расписания занятий в вузе имеет существенные ограничения по применению для составления расписания с учетом стажировок студентов без отрыва от основного образовательного процесса. В работе выделены требования к расписанию занятий и описана модель составления оптимального расписания.

Ключевые слова: расписание занятий; индивидуальный учебный план; математическое моделирование; метод ранжирования.

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR COMPILING THE OPTIMAL SCHEDULE OF CLASSES, TAKING INTO ACCOUNT THE INTERNSHIPS OF STUDENTS

Kovtun N.I., Lazareva T.I.

*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
kovtun-n-i@yandex.ru, tatylaz@mail.ru*

Abstract. The traditional approach to the preparation of the schedule of classes in the university has significant restrictions on the application for the preparation of the schedule, taking into account the internships of students without separation from the main educational process. The work allocated requirements for the schedule of classes and describe the model of compiling optimal schedule.

Keywords: timetable of classes; individual curriculum; math modeling; ranking method.

Одной из основных проблем, которые озвучивают работодатели при трудоустройстве выпускников вузов — оторванность полученных знаний от практики, что проявляется в

неспособности использовать знания в решении практических задач и в неумении обращаться с современным оборудованием.

Решением проблемы может быть внедрение в образовательный процесс регулярной стажировки на предприятиях-партнёрах или в научно-практических лабораториях и центрах развития. Это требует организации возможности перехода студента на индивидуальный учебный план, учитывающий особенности и образовательные потребности каждого студента.

Качество подготовки стажирующихся студентов и эффективность преподавательского потенциала зависят в определенной степени от уровня организации учебного процесса. Одна из основных составляющих этого процесса – расписание занятий – регламентирует трудовой ритм, влияет на творческую отдачу преподавателей, поэтому его можно рассматривать как фактор оптимизации использования ограниченных ресурсов – преподавательского состава, наличия специального оборудования и аудиторного фонда. Поскольку все факторы, влияющие на расписание, практически невозможно учесть, а интересы участников образовательного процесса многообразны, задача составления расписания является многокритериальной с нечетким множеством факторов. [1]

В результате анализа требований к расписанию занятий по индивидуальному плану было принято решение о необходимости в разработке алгоритма, в котором были бы заложены возможности по расширению списка требований к расписанию занятий, а также возможности регулирования приоритетов выполнения отдельных требований при составлении расписания.

Так как предполагается прохождение практических занятий на оборудовании научно-практических лабораторий (квадрокоптеры, 3д принтеры и пр.) в вузе или на специально выделенном для стажировок на предприятии-партнере, такие занятия должны проводиться индивидуально.

Для составления расписания проведем математическое моделирование, в основе которого возьмем идею оценки свободы расположения отдельного занятия в полученном расписании.

Для выбора возможности проведения практического занятия в расписании, для каждого стажирующегося студента составляется матрица St , где $St_{ij} = 1$, если студент готов к занятию в j -й период времени i -ого дня и занятие может быть добавлено в расписание для данного студента; $St_{ij} = 0$, если студент не готов к занятию в j -й период времени i -ого дня и занятие не может быть добавлено в расписание для данного студента.

Для выбора времени теоретического обучения, предваряющего индивидуальные практические занятия, определяется матрица T : $T = \sum_{i=1}^N St^i$, где N - количество студентов в группе; St^i - матрица St i -го студента.

Определяются элементы T_{ij} , для которых выполняется условие: $T_{ij} = \max\{T\}$, пока не будут расставлены все часы теоретического обучения.

При оценке свободы расположения i -го занятия в расписании производится подсчет:

1) a_i - количество времени студента, свободного для посещения индивидуального практического занятия;

2) p_i - количество занятий, которые проводит преподаватель этого занятия в вузе или на предприятии-партнере.

На основании этих данных определяется оценка свободы расположения занятия в расписании: $S_i = \frac{a_i}{p_i}$, где S_i – оценка свободы расположения i -го занятия в расписании.

После оценивания свободы расположения занятий в расписании производится сортировка списка занятий по возрастанию их оценок свободы расположения: $S_i < S_{i+1}$, $i = 1 \dots n$, где n – количество занятий.

После проведения сортировки в расписание в первую очередь добавляются занятия, находящиеся в голове списка, то есть с наименьшей свободой расположения в расписании. При добавлении занятий в расписание производится поиск наиболее выгодного времени его проведения. Для этого необходим полный перебор вариантов проведения занятия в пространстве (месте проведения) и времени (часы). В процессе перебора вариантов расположения занятия в первую очередь происходит проверка возможности проведения занятия по следующим ограничениям:

1) не происходит «перекрывания» занятий у преподавателя, в случае если оно произошло, то занятие не может быть проведено: $M_l^p \leq 1$, где M_l^p - количество занятий в позиции l для преподавателя p .

2) должны учитываться предпочтения студента в выборе времени посещения занятия: если $St_{ij} = 1$, то студент готов к занятию в j -й период времени i -ого дня и занятие может быть добавлено в расписание для данного студента;

если $St_{ij} = 0$, то студент не готов к занятию в j -й период времени i -ого дня и занятие не может быть добавлено в расписание для данного студента.

3) должны выполняться условия возможности проведения индивидуальных практических занятий, после обучения первых Z часов теории: $H_{vp}^i \geq Z$, где H_{vp}^i - количество индивидуальных практических занятий для i -ого студента.

В случае если обязательные условия выполняются, происходит оценка качества расположения занятия по дополнительным критериям: появление окна в расписании преподавателя за один день; появление повторного практического занятия у студента в один

день; проведение занятия в неудачное время, пятым или шестым по счету в этот день для этого преподавателя и т.д.

Каждый из критериев оценки качества расположения занятия в расписании должен быть реализован в виде отдельной специализированной функции, возвращающей значения в диапазоне $[0;1]$. Гибкость и адаптационные способности модели могут быть достигнуты за счет возможности дополнять список критериев качества.

Оценка качества расположения занятия по всем критериям может быть использована для получения общей оценки, необходимой в дальнейшем для выбора максимально выгодного времени и места проведения занятия.

Для получения оценки качества расположения занятия в расписании применяется формула вида: $R_{il} = \sum_{j=1}^m w_j \cdot k_{jl}$, где R_{il} – качество расположения i -го занятия на l -й позиции в расписании; k_{jl} – значение, полученное по j -му критерию оценки качества расположения занятия на l -й позиции в расписании; w_j – весовой коэффициент j -го критерия оценки качества; m – количество критериев оценки качества.

Весовые коэффициенты можно получить с помощью метода ранжирования. [2] Пусть экспертиза проводится группой из Y экспертов, которые являются квалифицированными специалистами в той области, где принимается решение. Метод ранжирования основан на том, что каждого эксперта просят расставить частные критерии проектируемого объекта в порядке их важности. Цифрой 1 обозначают наиболее важный частный критерий, цифрой 2 – следующий по важности частный критерий и т.д. Эти ранги преобразовываются таким образом, что ранг 1 – получает оценку m , ранг 2 – оценку $m-1$ и т.д. до ранга m , которому присваивается оценка 1. Обозначим полученные оценки r_{ik} – где i – i -й эксперт, k – k -й критерий: $r_i = \sum_{j=1}^Y r_{ij}$, где $i = 1, 2, \dots, m$.

Весовые коэффициенты определяются следующим образом: $w_j = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^m r_i}$, где w_j – весовой коэффициент j -го критерия оценки качества.

После оценки качества всех возможных вариантов расположения занятия в расписании выбирается вариант, при котором достигается максимальное значение оценки качества расположения: $R_i = \max_y (R_{iy})$, $y = 1..h$, где y – возможная позиция i -го занятия в расписании; R_i – качество расположения i -го занятия в расписании; h – количество возможных вариантов расположения занятия в расписании.

После расположения всех занятий в расписании производится оценка качества составленного расписания на основе суммы оценок качества расположения всех занятий в расписании. Ввиду того, что оценка качества расположения каждого занятия по критериям появления и исчезновения окна в расписаниях студентов и преподавателей зависит от

взаимного расположения занятий в расписании – необходимо произвести повторную оценку качества расположения каждого занятия в составленном расписании.

Для оценки качества составленного расписания используется формула вида:

$R = \sum_{i=1}^n R_i$, где R – качество составленного расписания; n – количество занятий.

Полученные результаты предоставляются администратору, который решает, стоит ли провести повторную генерацию расписания с новыми настроечными коэффициентами w_j , либо модифицировать полученное расписание вручную с целью дальнейшего использования.

Дальнейшая автоматизация процесса составления расписания занятий позволит сократить время на формирование расписания и гибко менять его с учетом возможного появления стажировок у студентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Математические методы и модели исследования операций: учебник/ ред. В. А. Колемаев. – Москва: Юнити, 2015. – 592 с.: ил., табл., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=114719>
2. Самков, Т. Л. Методы принятия управленческих решений: учебное пособие: [16+] / Т. Л. Самков; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 123 с.: ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575281>

О НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ НОМЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ

Остапенко А.Е.¹, Полещенко Д.А.²

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42

² Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (Губкинский филиал), 309186
Российская Федерация, Белгородская обл. г. Губкин, ул. Комсомольская, 16

Аннотация. В статье рассмотрены различные методы определения и распознавания номеров на железнодорожном транспорте, а также методы разметки изображения. Проанализированы различные нейросетевые модели для использования в разрабатываемой системе идентификации.

Ключевые слова: искусственный интеллект; нейросеть; железнодорожный транспорт.

ABOUT THE NEURAL NETWORK SYSTEM FOR IDENTIFICATION OF RAILWAY NUMBERS

Ostapenko A.E.¹, Poleschenko D.A.²

¹ 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

² Branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, Belgorod region, Russia, Gubkin

Annotation. The article discusses various methods for determining and recognizing license plates on railway transport, as well as methods for marking an image. The use of the developed system is proposed.

Keywords: artificial intelligence; neural network; railway transport.

На данный момент, из-за увеличения объемов выпускаемой металлопродукции компанией «Металлоинвест», возникает необходимость в более тщательно проработанной логистике передвижения железнодорожного транспорта по территории комбината и страны, а также налаживание полного взаимодействия сотрудников со специализированным ПО.

Процесс отслеживания железнодорожного транспорта и результат взвешивания, на сегодняшний день, осуществляется с помощью ручной сверки. Человеческий фактор, к сожалению, является основной причиной возникновения недостоверных данных и проблем в отслеживании транспорта в дальнейшем.

На современном этапе вагон поступает в пункт взвешивания, где весы являются ничем не отличающимся внешне железнодорожными путями, погрешность измерения варьируется в районе сотни килограмм. Наблюдает за проходящими вагонами во время взвешивания оператор. Он фиксирует данные вагона вручную записывая в журнал, по окончании ведется перенос данных в систему для формирования итоговой формы, которая в дальнейшем может отображаться в истории и использоваться при формировании отчета по вагону или сметы. Из-за различной скорости передвижения состава, оператор может не успеть зафиксировать номер или надпись на вагоне плохо читаема, тогда по прохождению вагона, оператор выходит на платформу и ведет сверку номеров состава, в любое время суток и при любой погоде. По окончании фиксации и заполнения формы, данные отправляются в базу для хранения и дальнейшей работы.

Для повышения точности идентификации вагонов и сокращения числа ошибок, вызванных человеческим фактором, а также для уменьшения временных затрат, предлагается разработать комплекс по определению номеров проходящего состава и фиксации данных в специализированное ПО. Комплекс будет состоять из нескольких видеокамер, системы освещения и обученной нейросетевой модели.

На данный момент в России известны несколько систем для решения данной задачи, самыми популярными являются:

ARSIS система от ООО «Малленом» - предназначен для формирования фото- и видеоизображений отдельных железнодорожных вагонов или всего состава целиком и последующего визуального контроля в интересах служб логистики и железнодорожных цехов предприятий. Данная система требует огромного хранилища для данных, плохо работает в ночное время или при различных осадках, отсутствует увеличение стоп кадра, требуется малая скорость передвижения состава для обработки изображения. [1]

Модуль MegaTrain распознавания ЖД номеров от ООО «Мегапиксел» - модуль разработан для распознавания железнодорожных номеров, в данной системе предусмотрено чтение номеров с нескольких каналов одновременно. Данная система схожа с системой чтения номеров с автомобилей. При этом есть ряд недостатков: камеры нельзя расположить на дистанцию более трех-пяти метров; сложность определение номеров вагонов; сложность чтения номеров при большом разрыве между числами; при скорости вагона более 20 км/час сложность в фиксации нужного кадра и т.д.

RailwayDisp от компании Intlab – система оптического считывания номеров вагонов и цистерн. Оптическое распознавание в условиях круглых суток UIC номеров железнодорожных вагонов, цистерн и платформ, нанесенных на поверхность (борт или шасси) в режиме реального времени с выдачей единого консолидированного результата. Модуль предоставляет возможность считывать номера как из отдельных изображений, так и из видеопотока, которые были получены от аналогового или цифрового видеоисточника. В случае работы модуля с использованием видеопотока обеспечивается максимально возможное качество распознавания, так как результаты, полученные из отдельных кадров с разных камер, анализируются и по окончании проезда вагона за счет сложных алгоритмов аналитики объединяются в единый результат. Так как номер вагона дублируется на двух боковых сторонах и часто также на шасси, то для получения максимального уровня распознавания может применяться от 2 до 4 камер. Недостатками являются системные требования, не подходящие к установленной на данный момент системе, необходима установка более 4 камер, что не является возможным, работа с малыми по размеру числами. [2]

SecurOs Transit от компании «Интеллектуальные системы безопасности» ISS – система интеллектуального видеоанализа, автоматизирует процесс регистрации и контроля передвижения объектов подвижного состава железных дорог, также позволяет эффективно решать задачи связанные с идентификацией вагонов, контролем перевозок и состояния грузов. Но такая система не может быть внедрена в действующую систему из-за невозможности надстроек, также она требует больших ресурсов для работы и не соответствует системным требованиям компании. [3]

На сегодняшний день собираются данные для обучения своего искусственного интеллекта, нацеленные на внутренние перевозки и транспортировку. Данная система будет соответствовать требованиям компании, не требуется дополнительной установки оборудования, имеет возможности интегрирования в действующую систему, обладать низкой стоимостью.

Для решения задачи и построения модели ядра системы распознавания целесообразно использовать нейронную сеть. Существует несколько классов сетей для этого:

CNN - сверточная система, которая обеспечивает частичную устойчивость к изменениям масштаба, смещениям или поворотам, а также к искажениям;

FPN - свёрточная нейронная сеть, построенная в виде пирамиды, служащая для объединения достоинств карт признаков нижних и верхних уровней сети, первые имеют высокое разрешение, но низкую семантическую, обобщающую способность; вторые — наоборот. Недостатком является увеличение временных затрат на обработку изображения [5];

Faster R-CNN – Изображение подается на вход сверточной нейронной сети. Так, формируется карта признаков. Карта признаков обрабатывается слоем RPN (слой классификации сетей предложения по области) которая классифицирует области изображений как объект или как фон при помощи функции потери перекрестной энтропии. Здесь скользящее окно проходится по карте признаков. В основе лежит система якорей, где якорь является областью, имеющей разные соотношения сторон. [6]

YOLO 5 – система для распознавания объектов в режиме реального времени. Более требовательна к ограничительным рамкам на объекте, чувствительна к изменениям освещения и т.д.

Из-за наличия якорей и других положительных качеств, была выбрана сеть Faster R-CNN. Для обучения искусственного интеллекта, необходимо создать обучающую выборку. В качестве удобных программ для разметки изображения чаще используются:

Labellmg – бесплатный, с открытым кодом, графический инструмент для разметки изображений, написанный на Python, который используется для выделения объектов на картинке.

CVAT — бесплатный инструмент с открытым исходным кодом для разметки цифровых изображений и видео, удобной подготовки наборов данных для алгоритмов компьютерного зрения. Он позволяет размечать данные для нескольких задач машинного обучения: распознавания объектов, классификации и сегментации изображений и т.д.[4]

Для разметки изображения на рисунке 1, была использована программа Labellmg из-за ее простоты использования и возможности запуска без предварительной установки приложения.



Рис. 1 – Разметка изображения в среде labellmg

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://www.mallenom.ru>
2. <https://www.intlab.com>
3. <https://borlas.ru>
4. <https://evergreens.com.ua>
5. <https://habr.com/>
6. <https://docs.exponenta.ru/>

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА

Халапян С.Ю., Анпилов А.О.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
cx@hotbox.ru, alexandr7432@rambler.ru*

Аннотация. Основной целью данного исследования является повышение производительности процесса обезвоживания железорудного концентрата. Рассматривается целесообразность использования многопараметрического экстремального регулятора в разработанной системе управления процессом обезвоживания.

Ключевые слова: железорудный концентрат; дисковый вакуум-фильтр; влажность; производительность; обезвоживание; автоматическая система управления; экстремальный регулятор; гранулометрический состав концентрата; удельное сопротивление.

ABOUT THE USE OF AN EXTREME REGULATOR IN THE IRON ORE CONCENTRATE DEHYDRATION PROCESS CONTROL SYSTEM

Khalapyan S.Y., Anpilov A.O.

*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
cx@hotbox.ru, alexandr7432@rambler.ru*

Abstract. The main purpose of this study is to increase the productivity of the iron ore concentrate dehydration process. The expediency of using a multiparametric extreme regulator in the developed dehydration process control system is considered.

Keywords: iron ore concentrate; disk vacuum filter; humidity; productivity; dehydration; automatic control system; extreme regulator; concentrate granulometric composition; resistivity.

Одним из технологических процессов, применяемых на горно-металлургических предприятиях, является обезвоживание железорудного концентрата. Одним из агрегатов, используемый для обезвоживания, является дисковый вакуум-фильтр. Процесс

обезвоживания железорудного концентрата является очень энергозатратным, а также в основном имеет низкую степень автоматизации. Данные факторы в совокупности оказывают сильное влияние на производительность передела, качество и себестоимость выходного продукта [1].

Основной целью настоящего исследования является повышение производительности процесса обезвоживания железорудного концентрата при использовании дисковых вакуум-фильтрах. При этом требуется чтобы влажность выходного продукта процесса поддерживалась на требуемом технологией уровне.

Авторами на основе информации о протекании процесса обезвоживания [2], [3] была разработана система автоматического управления процессом обезвоживания железорудного концентрата [4]. Данная система управления содержит следующие контуры регулирования: влажности осадка, уровня пульпы в пульподелителе, плотности и уровня пульпы в ванне вакуум-фильтра, положения задвижки на трубопроводе подачи разрежения в зону набора осадка, а также производительности.

В разработанной системе управления процессом обезвоживания железорудного концентрата повышение производительности производится за счёт её экстремального регулирования, при котором происходит вычисление оптимальных значений заданий для контуров регулирования плотности пульпы в ванне фильтра и положения задвижки на трубопроводе подачи разрежения в зону набора осадка в условиях изменения суммарного удельного сопротивления осадка и фильтроткани, вызванного изменением фильтруемости концентрата в пульпе питания фильтра и загрязнённости фильтроткани на его секторах.

В контуре регулирования производительности разработанной системы управления было принято решение использовать многопараметрический экстремальный регулятор, который на основе разности значений текущей производительности и производительности на предыдущей итерации работы регулятора вычисляет значения заданий для контуров регулирования плотности пульпы в ванне фильтра и положения задвижки на трубопроводе подачи разрежения в зону набора осадка и также моменты переключения между контурами.

В дальнейшем была разработаны математические модели системы управления процессом обезвоживания железорудного концентрата и объекта управления. С целью определить качество работы многопараметрического экстремального регулятора было проведено три вида экспериментов: при линейном возмущении на систему (моделирование увеличения удельного сопротивления фильтроткани, вызванного ростом её загрязнённости); при синусоидальном возмущении на систему (моделирование изменения удельного сопротивления осадка, вызванного изменением гранулометрического состава концентрата в

пульпе); при линейном и синусоидальном возмущениях на систему. Результаты моделирования представлены на рисунках 1-3.

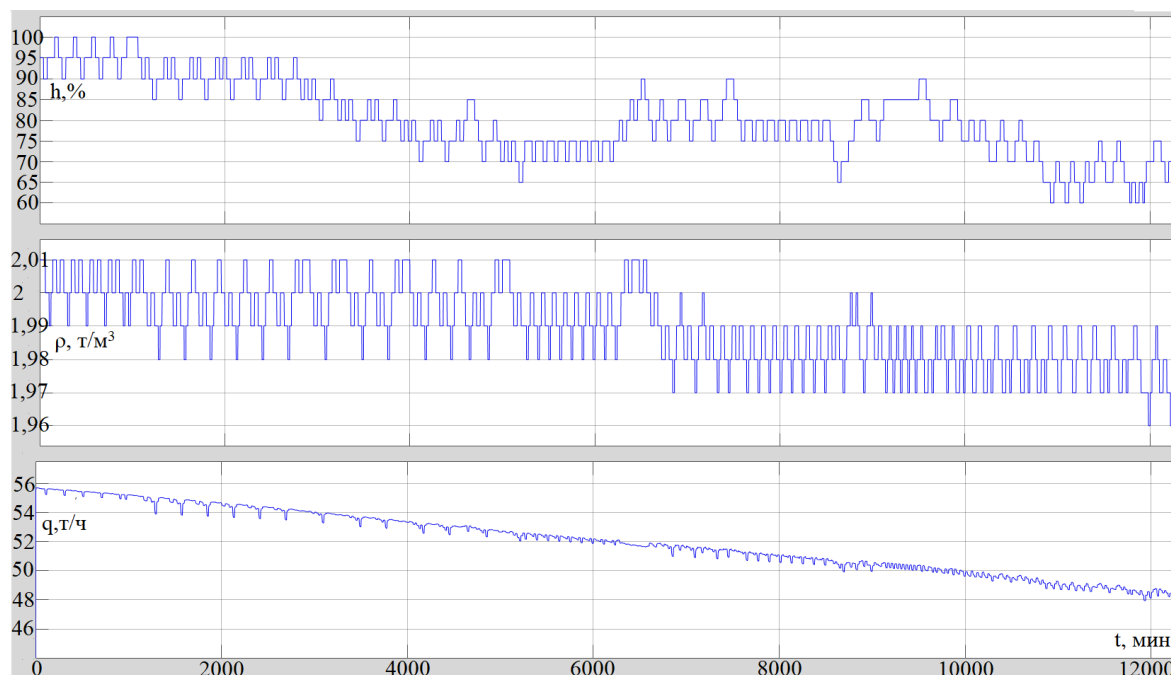


Рис. 1 – Графики задания плотности пульпы, задания положения задвижки на трубопроводе подачи разрежения и производительности фильтра при подаче линейного возмущения

По графикам, представленным на рисунке 1 видно, что при линейном увеличении удельного сопротивления фильтроткани в среднем снижаются: производительность дискового вакуум-фильтра, задание плотности пульпы и задание положения задвижки на трубопроводе подачи разрежения в зону набора осадка. По данным графикам можно сделать вывод, что многопараметрический экстремальный регулятор работает корректно, т.к. при увеличении удельного сопротивления фильтроткани необходимо снижать плотность пульпы и разрежение в зоне набора осадка (прикрытием задвижки) с целью уменьшения его толщины и плотности, что в итоге приводит к достижению максимально возможной производительности вакуум-фильтра при условии обеспечения заданной влажности выходного продукта.

По графикам, представленным на рисунке 2 видно, что при синусоидальном изменении удельного сопротивления осадка график производительности дискового вакуум-фильтра также имеет форму, близкую к синусоидальной. Но стоит отметить, что при максимальном значении удельного сопротивления осадка производительность фильтра имеет минимальное значение и наоборот. По графикам задания плотности и задания положения задвижки на трубопроводе подачи разрежения в зону набора осадка можно сделать вывод, что многопараметрический экстремальный регулятор работает корректно, т.к. при увеличении удельного сопротивления осадка он снижал задания плотности и положения задвижки на

трубопроводе подачи разрежения в зону набора осадка (интервалы 1700 – 4700 мин и 7900 – 11000 мин), при снижении удельного сопротивления осадка возвращал их к первоначальным значениям (интервалы 100 – 1700 мин, 4700 – 7900 мин и 11000 – 12000 мин).

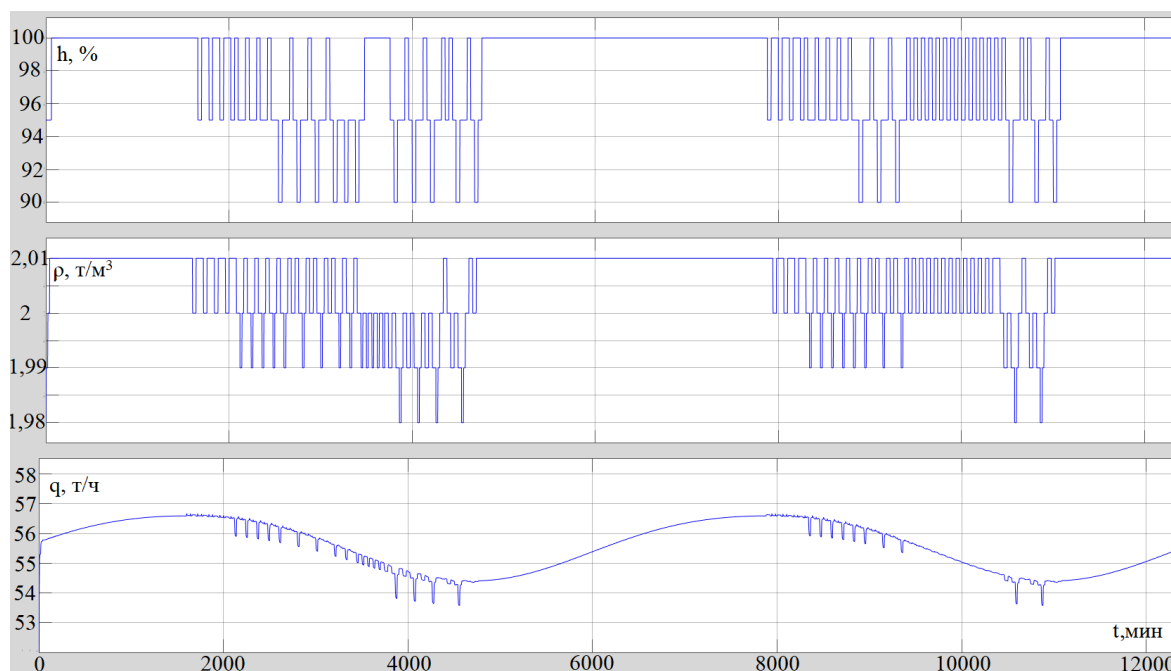


Рис. 2 – Графики задания плотности пульпы, задания положения задвижки на трубопроводе подачи разрежения и производительности фильтра при подаче синусоидального возмущения

По графикам, представленным на рисунке 3 видно, что при синусоидальном и линейном изменении суммарного удельного сопротивления осадка и фильтроткани задания плотности и положения задвижки на трубопроводе подачи разрежения в зону набора осадка в среднем снижаются, но при этом на интервалах 1600 – 4000 мин, 6200 – 7800 мин при снижении суммарного удельного сопротивления задания в среднем повышаются и наоборот при повышении суммарного удельного сопротивления задания в среднем снижаются (интервалы 4500 – 6200 мин и 9500 – 12000 мин). По данным графикам можно сделать вывод, что многопараметрический экстремальный регулятор в среднем работает корректно.

При этом стоит отметить, что во всех трех экспериментах в работе экстремального регулятора наблюдаются ложные срабатывания, вызванными наличием шума в сигнале текущей производительности. Фильтрация сигнала производительности приведет к снижению быстродействия системы.

В результате проведенных экспериментов можно сделать вывод, что используемый многопараметрический экстремальный регулятор в разработанной системе управления процессом обезвоживания железорудного концентрата работает корректно, но при его работе

в некоторых случаях наблюдаются ложные срабатывания, что в некоторых случаях может приводить к снижению производительности вакуум-фильтра.

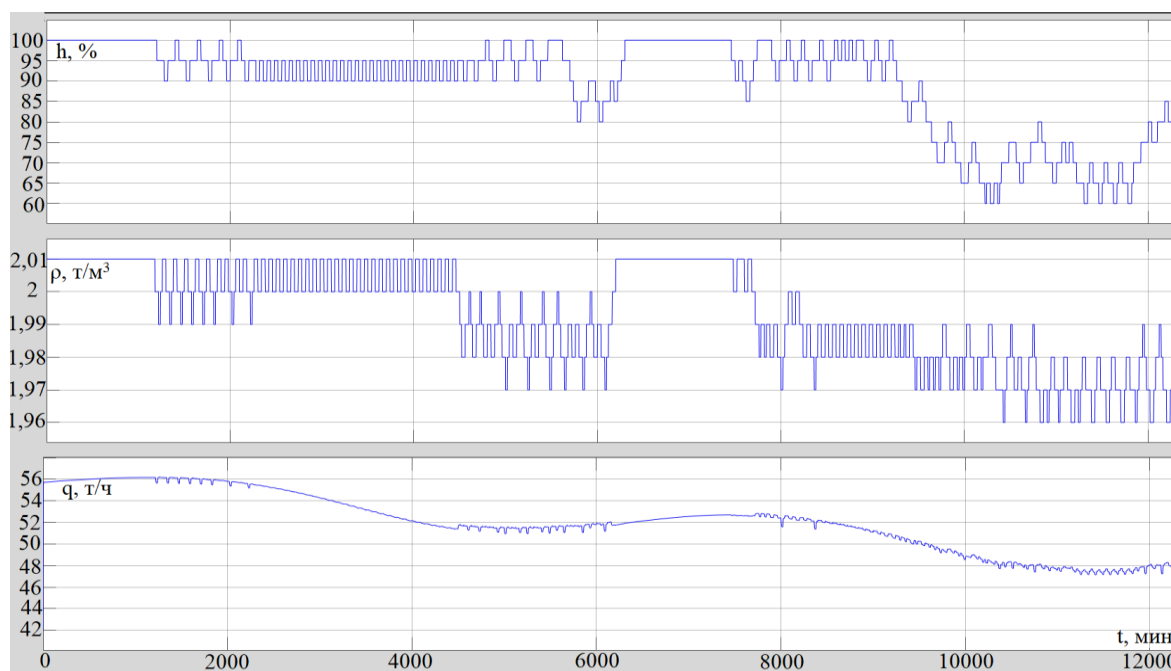


Рис. 3 – Графики задания плотности пульпы, задания положения задвижки на трубопроводе подачи разрежения и производительности фильтра при одновременной подаче на систему линейного и синусоидального возмущения

Поэтому для системы управления процессом обезвоживания железорудного концентрата с целью повышения качества управления предлагается разработать многопараметрический экстремально-нечёткий регулятор, использующий накопленный опыт операторского управления объектом. Такой регулятор будет на основе экспертных данных определять направление и размер шага изменения задания для контуров регулирования плотности пульпы в ванне вакуум-фильтра и положения задвижки на трубопроводе подачи разрежения в зону набора осадка, а также производить переключение между этими контурами (выбирать ведущий) в зависимости от приближения производительности фильтра к экстремуму и текущей инерционности объекта управления, связанной с изменением крупности частиц концентрата в пульпе, их формы и плотности, а также загрязнённости фильтра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафонов Д.Н. Управление процессом разделения технологических пульп медно-никелевого производства в современных фильтр-прессах: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.06. СПб., 2012. 120 с.

2. Гольберг, Ю.С. Обезвоживание концентратов черных металлов [Текст] / Ю.С. Гольберг, А.А. Гонтаренко. – М.: Недра. – 1986. – 182 с.
3. Гольберг, Ю.С. Процессы и оборудование для обезвоживания руд [Текст] / Ю.С. Гольберг, А.А. Гонтаренко, В.Т. Баришполец, Б.В. Гищук. – М.: Недра. – 1977. – 168 с.
4. О повышении качества управления процессом обезвоживания [Текст] / С.Ю. Халапян [и др.] // XVIII Всероссийская научно-практическая конференция студентов и аспирантов. – Старый Оскол: Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал), НИТУ «МИСиС», 2021. – С. 235 – 236.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ СЛОМАННЫХ ЗУБЬЕВ КОВША С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Щербаков А.С., Полещенко Д.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
Shcherbacov.Andrew94@gmail.com, po-dima@yandex.ru*

Аннотация. В статье приводится описание алгоритма детектирование зубьев ковша свёрточной нейронной сетью глубокого обучения FPN и определение степени износа каждого из них. Обучение и тестирование нейронной сети проводилось с использованием выборки, созданной на основе реальных изображений ковша, взятых с производства.

Ключевые слова: нейронная сеть; глубокое обучение; распознавание образов; свёрточная нейронная сеть; глубокое обучение.

DETERMINATION OF BROKEN BUCKET TEETH USING NEURAL NETWORKS

Shcherbakov A.S., Poleshchenko D.A

*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
Shcherbacov.Andrew94@gmail.com, po-dima@yandex.ru*

Abstract. The article presents an algorithm for detecting bucket teeth by a convolutional deep learning network FPN and determining the most worn ones. Training and testing of the neural network were carried out using a database created on the basis of real images of the brand taken from production.

Keywords: neural network; deep learning; pattern recognition; convolutional neural network; deep learning.

При погрузке руды экскаватором периодически отламываются зубья на ковше. Так как они сделаны из специальных сплавов, обнаружить которые невозможно с помощью металлодетекторов, зубья с рудой могут поступать по технологической цепочке в дробилки и

приводить к их поломке. Ремонт дробилки – это очень дорогостоящее мероприятие, которое несет за собой многомиллионные экономические потери.

Для контроля за отломом зубьев ковша экскаватора в работе предлагается анализировать видеопоток с камеры установленной на стреле. Качественную идентификацию наличия зуба и даже степени его износа могут обнаружить нейронные сети. Для этого было принято решение использовать нейронную сеть Feature Pyramid Network, как наиболее эффективную в плане соотношения качество идентификации (сегментации) и затрачиваемые ресурсы.

В Feature Pyramid Network карты признаков, извлечённые последовательными слоями CNN с уменьшающейся размерностью, рассматриваются как некая иерархическая «пирамида», называемая bottom-up pathway. При этом карты признаков и нижних, и верхних уровней пирамиды обладают своими преимуществами и недостатками: первые имеют высокое разрешение, но низкую семантическую, обобщающую, способность; вторые — наоборот:

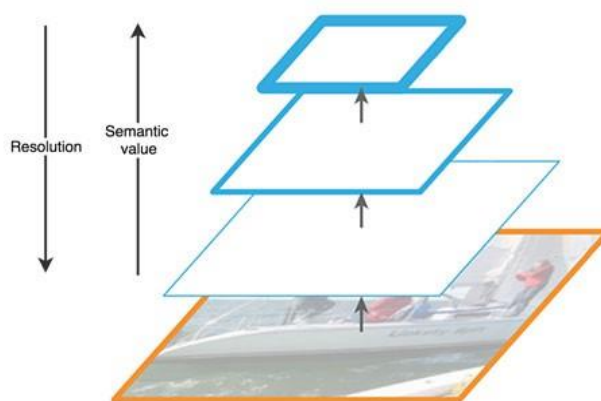


Рис. 1 – Карты признаков сети

Архитектура FPN позволяет объединить достоинства верхних и нижних слоёв при помощи добавления top-down pathway и lateral connections. Для этого карта каждого вышележащего слоя увеличивается до размера нижележащего и их содержимое поэлементно складывается. В итоговых предсказаниях используются результирующие карты всех уровней.

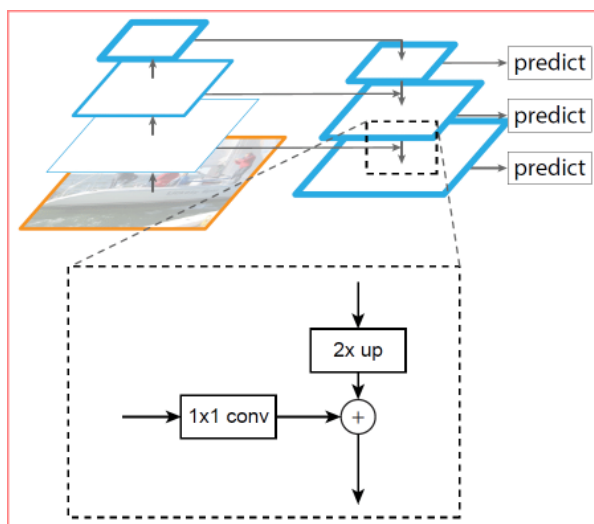


Рис. 2 – Архитектура FPN-сети

Для формирования набора данных для обучения нейронной сети, необходимо для большой выборки изображений поставить в соответствие вручную сделанную маску, на которой в разные цвета размечаются ковш, фон, зубья ковша и тросы, удерживающие ковш.

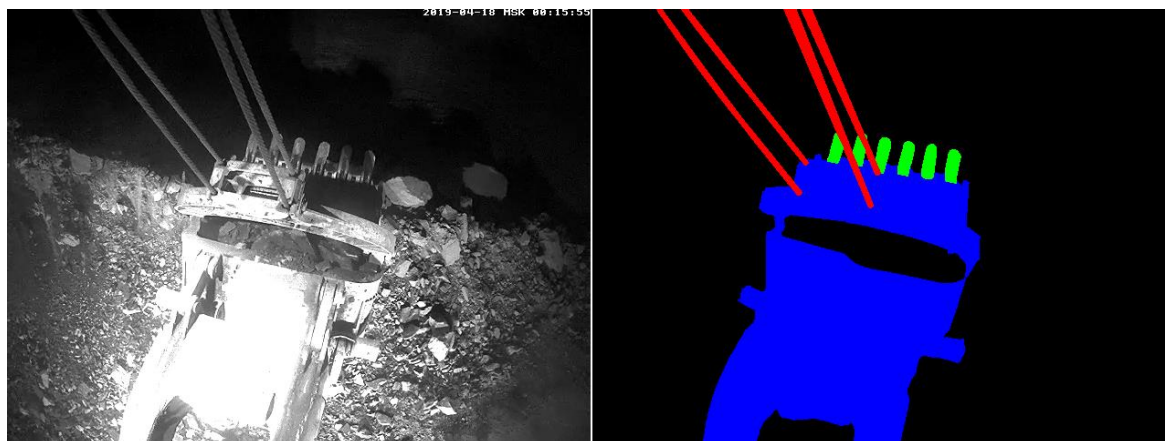


Рис. 3 – Пример маски для изображения

Синий цвет маски соответствует ковшу, зеленый – зубьям, красный – тросам.

Для создания выборки были использованы кадры видео, снятого с камеры, расположенной на стреле экскаватора.



Рис. 4 – Выборка изображений для обучения НС

После сегментации изображения программа на языке Python ищет зеленый цвет на изображении и определяет верхнюю точку каждого зуба. Далее программа ищет прямую, проходящую через наибольшее количество точек.

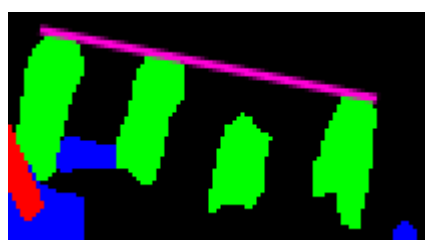


Рис. 5 – Пример прямой, проходящей по верхним точкам зубьев

Далее программа сравнивает расстояния от каждого зуба до прямой выдает сообщение, если какое-то расстояние больше заданного отклонения.

На основании полученного результата можно сделать вывод о перспективности предлагаемой методики оценки как отлома зуба, так и степени его износа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://www.azoft.ru/blog/poisk-obekta-na-izobrazhenii-s-pomoshchyu-polnosvyortochnyh-nejronnyh-setej> - Поиск объекта на изображении с помощью полносверточных нейронных сетей, дата обращения 17.11.2021
2. https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Задача_нахождения_объектов_на_изображении-Задача нахождения объектов на изображении, дата обращения 17.11.2021

3. <https://habr.com/ru/post/421299/> - Mask R-CNN: архитектура современной нейронной сети для сегментации объектов на изображениях, дата обращения 17.11.2021

ПРОГРАММНЫЙ ТРЕНАЖЕР ОПЕРАТОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Кривоносов В.А.¹, Козырь О.Ф.¹, Соколов В.В.²

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»

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

² Череповецкий государственный университет, г. Череповец, пр.Луначарского, 5,

krivonosov_v_a@mail.ru, kozyr_o@mail.ru, bbc1953@mail.ru

Аннотация. Разработан программный тренажер, позволяющий существенно ускорить процесс обучения операторов, повысить уровень их профессиональной подготовки и эффективность управления процессом. Тренажер построен на основе многомерной динамической модели технологического процесса. Приведена базовая структура тренажера и обобщенный алгоритм его функционирования.

Ключевые слова: технологический процесс; программный тренажер; динамическая модель; оптимальное управление.

PROGRAM SIMULATOR OF THE PROCESS OPERATOR

Krivonosov V.A.¹, Kozyr O.F.¹, Sokolov V.V.²

¹ 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

² Cherepovets State University, Cherepovets, Lunacharsky Ave., 5,

krivonosov_v_a@mail.ru, kozyr_o@mail.ru, bbc1953@mail.ru

Abstract. A program simulator has been developed that allows significantly speeding up the process of training operators, increasing their level of professional training and the effectiveness of process management. The simulator is based on a multidimensional dynamic model of the technological process. The basic structure of the simulator and the generalized algorithm of its functioning are given.

Keywords: technological process; program simulator; dynamic model; optimal control.

Современные технологии требуют от операторов, управляющих технологическим процессом, высокой квалификации и точности принимаемых решений. Одним из наиболее экономичных и эффективных способов обучения и совершенствования комплексных

профессиональных умений и навыков операторов является применение компьютерных тренажеров, позволяющих имитировать технологические процессы в реальном масштабе времени. Основная задача таких тренажеров – формирование опыта принятия решений, который основывается на возможности промоделировать динамический отклик объекта на управляющие воздействия оператора и получить рекомендации ЭВМ в сложной ситуации [1].

Тренажер оператора ТП представляет собой исполняемый программный файл, функционирующий в среде ОС Windows на персональном компьютере с аппаратными характеристиками среднего уровня. В тренажер встроена база исходных режимов, содержащая стандартный набор вариантов исходных состояний ТП, отличающихся по степени сложности выхода в желаемый режим. Есть возможность добавления в базу собственных вариантов исходных состояний.

Также авторами разработана многомерная динамическая модель объекта управления в форме системы разностных уравнений, полученных из условий материального баланса. На основе математической модели построена связанная система оптимального управления процессом [2], обеспечивающая достаточно быстрый монотонный выход параметров ТП в заданный режим. Поведение процесса, управляемого оптимальной системой, является эталоном для обучаемого.

Тренажер выполняет две основные функции:

- расчет по математической модели переходных процессов в системе (имитация ТП);
- определение оптимальных значений управляющих воздействий и выдача их обучаемому для сравнения с его действиями.

Возможны два режима работы компьютерного тренажера: режим с выдачей рекомендаций (режим обучения) и без выдачи рекомендаций (экзаменационный режим). Последний исключает доступ к рекомендациям системы оптимального управления и может использоваться для контроля знаний операторов и технологов.

Система ведет контроль хода обучения. Результаты обучения после завершения каждого сеанса сохраняются в текстовом файле.

Структурная схема тренажера приведена на рис. 1.

Процесс обучения начинается с выбора одного из вариантов исходных состояний ТП, после чего на экране появляется форма управления процессом, на которой представлены текущие и желаемые значения его контролируемых параметров, окно для вывода их графиков и строка для ввода новых значений управляющих воздействий. Процесс имеет продолжительность в 12 модельных часов по количеству часов рабочей смены на реальном производстве. Задача обучающегося заключается в том, чтобы в течение отведенного ему

времени (12 часов) вывести процесс на желаемый (рекомендуемый) режим работы, изменяя значения управляющих воздействий.

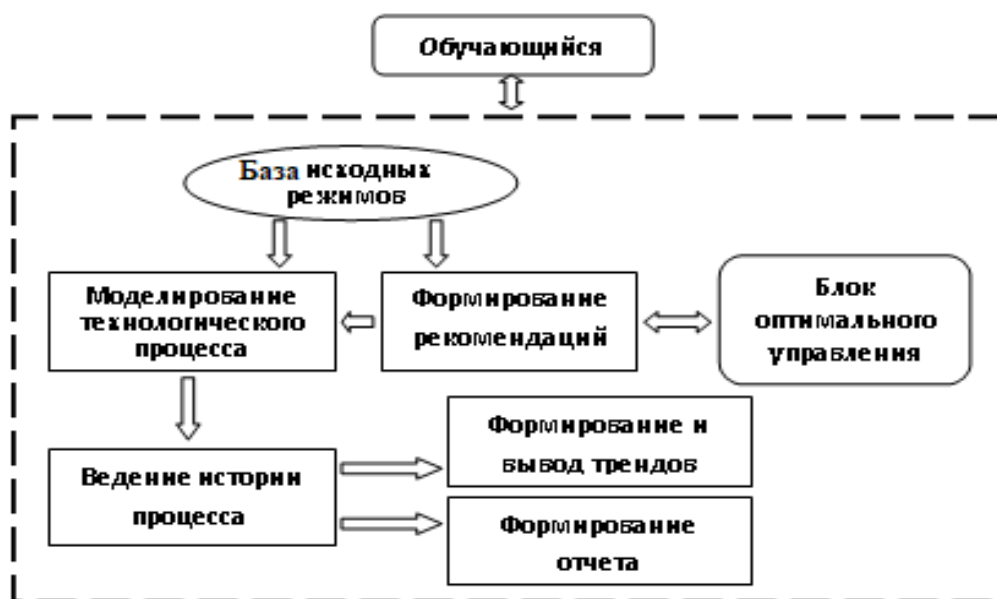


Рис. 1 – Структурная схема тренажера оператора ТП

Для принятия решений обучаемому доступны:

- справочная информация по управлению ТП, отражающая влияния изменения управляющих воздействий за 1 и 2 часа на характеристики процесса;
- журнал истории процесса, содержащий информацию об управлении и изменении характеристик в конце каждого часа управления;
- графики характеристик процесса, измеряемых автоматическими приборами;
- рекомендации ЭВМ по оптимальному выходу ТП на заданный режим (в режиме обучения).

Процесс обучения имеет итерационный характер, обучаемый повторяет определенную последовательность действий в каждом его такте. Перед началом каждого модельного часа оператор анализирует ситуацию и изменяет управляемые потоки для достижения требуемого режима. По математической модели рассчитываются значения выходных характеристик ТП, которые установятся через 1 час под влиянием выбранных управляющих воздействий, а также рекомендуемые управляющие воздействия [3, 4]. Эти характеристики выдаются на экран, и обучаемому вновь предлагается установить управляющие воздействия на следующий час.

Задача усложняется тем, что в 4 и 7 модельных часах в системе управления моделируется режим резкого изменения нагрузки [4], что позволит обучаемому более детально освоить особенности управления конкретным ТП. Изменение нагрузки приводит к

началу переходных процессов. Это может быть обусловлено тем, например, что один из двух параллельно работающих технологических агрегатов вышел из строя. В начале 7-го часа нефункционирующий агрегат снова включается в работу, что снова вызывает переходный процесс. Эти особенности необходимо оператору учесть при управлении ТП. Переходный процесс существенно отличается от установившегося режима, поэтому управляющие воздействия в систему нужно вводить 4 раза в час, на начало каждой 15-ти минутки. Рекомендации ЭВМ в переходном процессе также выдаются 4 раза в час.

Упрощенная схема алгоритма работы тренажера ТП представлена на рис. 2.

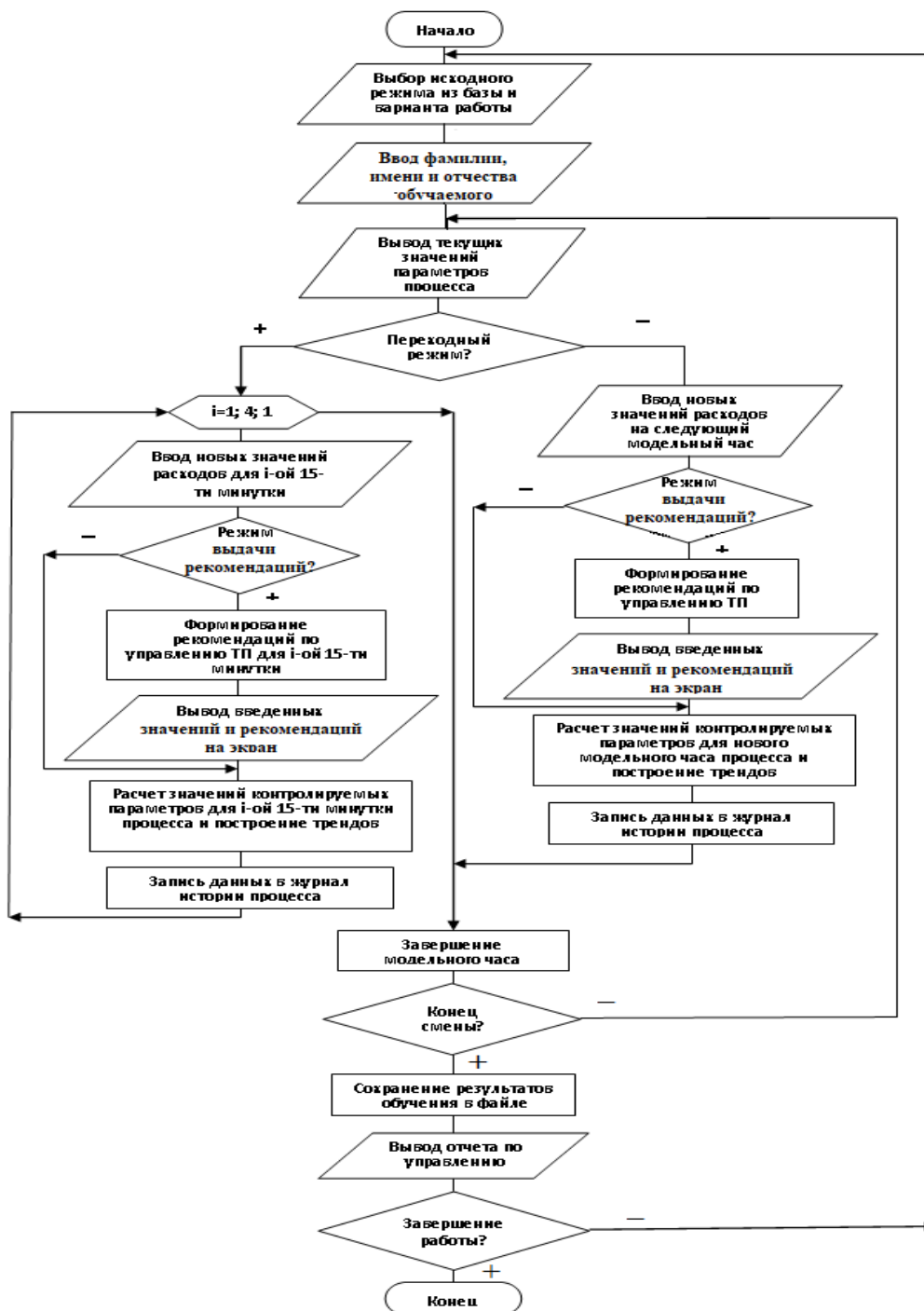


Рис. 2 – Схема алгоритма программного тренажера

В процессе обучения все вводимые и вычисляемые данные сохраняются в памяти компьютера, на основании которых формируются графики изменения во времени (тренды) управляющих воздействий и выходных характеристик процесса. Тренды позволяют проанализировать действия оператора и оценить их влияние на параметры процесса. Для выхода в режим построения графиков пользователям нужно нажать на соответствующую кнопку, находящуюся на форме управления процессом. Также на данной форме в блоке отображения информации обучаемому представляются графики изменения наиболее значимых контролируемых параметров за последние три моделируемые часа ТП.

Процесс обучения не утомителен и носит состязательный характер, так как обучаемый стремится предугадать оптимальные управляющие воздействия, рекомендуемые ЭВМ. Использование компьютерных тренажеров для подготовки специалистов повышает не только их уровень знаний, но и заинтересованность в своей профессии, а также качество и обоснованность принимаемых управленческих решений. После обучения операторов на тренажере существенно уменьшается число нарушений технологического регламента, производительность линии и эффективность функционирования технологического объекта благодаря рациональному управлению ТП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипова В.А., Даныкина Г.Б. Повышение эффективности обучения операторов технологических процессов на базе компьютерных тренажеров. Системы. Методы. Технологии – 2011, № 11. С 106-114
2. Krivonosov V.A., Sokolov V.V., Babenkov V.A. Program trainer for operator of phosphoric acid production by wet-process . European Researcher. 2013. № 2-1 (40). С. 253-258
3. Кривонос В.А., Бабенков В.А., Соколов В.В., Шибанов Е.Ю., Перекрестов В.П. Математическая модель процесса экстракции и фильтрации производства фосфорной кислоты ООО «Балаковские минеральные удобрения». Автоматизация в промышленности. 2013. № 7. С. 24-29.
4. Кривонос В.А., Козырь О.Ф., Соколов В.В. Моделирование и оптимизация сульфатного режима в технологическом процессе производства экстракционной фосфорной кислоты при изменении нагрузки на экстрактор по апатиту Инженерный вестник Дона. 2021. № 5 (77). С. 243-252.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА ЗАЯВОК В СЕРВИСНОМ ЦЕНТРЕ

Качанова Ю.А., Лазарева Т.И.

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

Аннотация. В статье рассматривается проблема автоматизации учета заявок по ремонту и обслуживанию оборудования в сервисном центре, а также функционал разрабатываемой информационной системы.

Ключевые слова: информационная система; диаграмма прецедентов; диаграмма классов.

DESIGN OF AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR REGISTRATION OF APPLICATIONS IN THE SERVICE CENTER

Kachanova Yu.A., Lazareva T.I.

*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*

Abstract. The article discusses the problem of automating the accounting of requests for repair and maintenance of equipment in the service center, as well as the functionality of the information system being developed.

Keywords: information system; precedent diagram; class diagram.

Общество с ограниченной ответственностью «Концепт-С», выступающее под коммерческим обозначением «Квест-Сервис», это микропредприятие, которое предоставляет широкий спектр услуг по всей Белгородской области [1]:

- ремонт бытовой техники любой сложности;
- ремонт портативной аппаратуры: навигаторы, телефоны, планшеты, МР-3 плееры, мониторы, ресиверы, усилители, колонки, электронные книги, рамки и многое другое;

- ремонт аппаратуры: современной аудио-, радио-, теле-, видео- и фототехники отечественного и импортного производства, радиотелефонов, факсов, мини-АТС, цифровые приставки, декодеры и многое другое;
- компьютерная помощь на дому (удаленная компьютерная помощь по всей России): ремонт компьютеров, ноутбуков, планшетных ПК;
- восстановление данных: поврежденные файлы Word, Excel и другие расширения, восстановление баз данных, восстановление файлов с мобильных телефонов, планшетов;
- абонентское обслуживание компьютеров организации: системная настройка, профилактика и чистка от вирусов, установка ПО, защита от интернет-шпионов, апгрейд старых компьютеров, переустановка операционных систем, резервное копирование информации;
- установка видео наблюдения: наружное, внутреннее, скрытое, на любой площади и любой сложности.

На данный момент для учета заявок и отслеживания работ по ним в организации используются программы пакета Microsoft Office (Word, Excel), что приводит к неудобствам работы с данными, исключает одновременный доступ двум и более пользователям к файлу и как следствие, отрицательно сказывается на эффективности работы. Все процессы, связанные с приемом, оформлением, отслеживанием, закрытием заявок, а также учет работ по ремонту и обслуживанию техники производится вручную.

Работа сервисного центра требует накопления и обработки большого количества информации, поэтому актуальной задачей является разработка информационной системы для автоматизации деятельности ООО «Концепт-С», к которой предъявляются следующие функциональные требования:

- аутентификация и авторизация пользователей системы;
- возможность добавления, корректировки, удаления и хранения данных о клиентах и сотрудниках сервисного центра, оборудовании, поступающему в мастерскую, заявках, сроках и этапах выполнения работ и прочее;
- наличие рабочего стола менеджера с функционалом отслеживания текущих статусов по каждой заявке, создания заявки и возможностью указания сведений о клиенте, технике, принятой в ремонт, состоянии, неисправности техники и исполнителе работ;
- сортировка и фильтрация записей по различным критериям;
- возможность планирования менеджером работ по каждому мастеру сервисного центра;

- наличие рабочего стола мастера с функционалом отслеживания работ и выполнения заявок с возможностью изменения статуса в зависимости от этапа работ, заполнения запчастей и услуг, использованных при выполнении работ;
- автоматическое формирование отчетов и выходных форм по различным настраиваемым фильтрам и критериям.

Для моделирования вида разрабатываемой системы с точки зрения внешнего наблюдателя будем использовать диаграмму прецедентов (рис. 1) [2].

На данной диаграмме отображены три сущности-актера, отражающих (обозначающих) группы пользователей «Менеджер», «Мастер», «Директор», каждая из которых взаимодействует с рассматриваемой системой учета заявок и имеет свой функционал.

Группа пользователей «Менеджер» имеет функционал: оформление заявки – это заполнение данных о клиенте, заполнение данных о ремонте (тип, вид, дата и т.д.), заполнение параметров техники и планирование работ (функционал назначения исполнителя и сроков); формирование документов (квитанция, гарантийный лист); ведение заявок (изменение данных о заявке, например, изменение статуса), ведение сведений о клиентах (изменение данных о клиентах), закрытие заявки, куда включается функционал формирования документа – гарантийный лист; формирование отчетов.

Группа пользователей «Мастер» имеет свой функционал: выполнение заявки, которое заключается в заполнении запчастей и услуг, выставлении статусов и дат по мере выполнения работ; просмотр текущих заказов и работ, закрепленных за мастером и просмотр истории (закрытых ранее заявок).

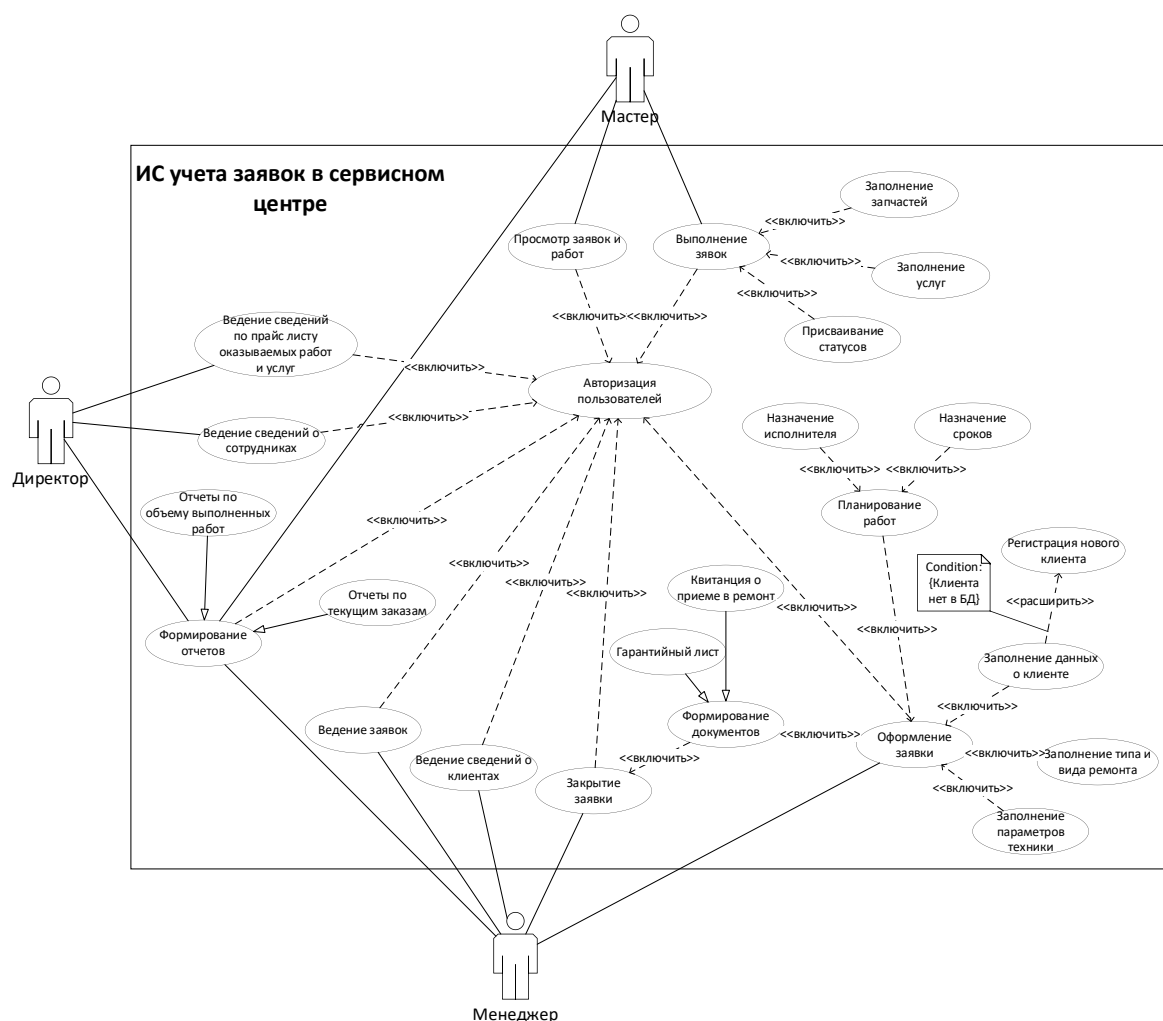


Рис. 1 – Диаграмма прецедентов

Группа пользователей «Директор» имеет также свой функционал: ведение сведений по прайс-листу оказываемых работ и услуг (редактирование перечня услуг и цен); ведение сведений о сотрудниках (редактирование данных), формирование отчетов (отчеты по объему выполненных работ, отчеты по текущим заявкам и другим критериям)

Каждому пользователю необходимо авторизироваться в системе, чтобы получить права на выполнение определенных функций, что отражает вариант использования «Авторизация пользователей», с которым соединены другие варианты использования отношениями включения.

Система – это множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство. Поэтому удобно рассматривать структуру модели системы с помощью диаграммы классов (рис. 2) [3].

обслуживает как частных, так и физических, юридических лиц. Класс клиент содержит общие для подклассов атрибуты, но, например, атрибут ИНН наследуется подклассом Юр_лицо, а атрибут ОГРН – подклассом Физ_лицо. Эти атрибуты не заполняются для экземпляра класса Клиент, если обслуживается частное лицо, и остаются пустыми.

– Заявка – класс, связанный отношениями агрегации с классами: Оборудование, Работы_по_заявке, Выполнение, МатЦенности_по_заявке, Документ, тем самым отражая то, что эти классы являются частью класса Заявка. Оборудование – класс, описывающий технику, которую клиент сдает в сервисный центр, МатЦенности и Работы – отражают список запчастей и расходных материалов и работ по каждому заказу соответственно. По каждой материальной ценности и работе также указывается цена, количество, и итоговая стоимость.

– Документ – также суперкласс для подклассов Гарантийный_лист и Квитанция.

Разрабатываемая система позволит автоматизировать процессы оформления заявок, распределения и планирования работ по заявкам, закрытия заявок, а также формирование выходных документов и отчетов, что позволит повысить качество обслуживания и эффективность работы предприятия в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сервисный центр «Квест-Сервис» – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://quservis.ru/>, свободный – (Дата обращения 01.12.2021)

2. 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: 02.12.2021). – Библиогр.: с. 95-96. – ISBN 978-5-89349-978-0. – Текст: электронный.

3. Золотов, С. Ю. Проектирование информационных систем : учебное пособие / С. Ю. Золотов ; Томский Государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). – Томск: Эль Контент, 2013. – 88 с.: табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208706> (дата обращения: 02.12.2021). – ISBN 978-5-4332-0083-8. – Текст: электронный.

О СЕГМЕНТАЦИИ КУСКОВ РУДЫ ПОСЛЕ ВЗРЫВА В КАРЬЕРЕ НА ФОТОГРАФИИ

Коренев А.В.¹, Михайлов И.С.¹, Устимов В.Ю.¹, Полещенко Д.А.²

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»

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

² Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (Губкинский филиал), 309186

Российская Федерация, Белгородская обл. г. Губкин, ул. Комсомольская, 16

korenev01@mail.ru, mikhaylov.is@yandex.ru, po-dima@yandex.ru

Аннотация. в данной работе рассмотрены архитектуры нейронных сетей, которые могут быть использованы для семантической сегментации с целью автоматизации обработки фотоснимков результата взрывных работ для выделения границ объектов.

Ключевые слова: нейронная сеть; FPN-сеть; сегментация рудной массы.

ABOUT SEGMENTATION IN THE PHOTO OF ORE PIECES AFTER EXPLOSION IN THE QUARRY

Korenev A.V.¹, Mikhailov I.S.¹, Ustimov V.Y.¹, Poleshenko D.A.²

¹ 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

² Branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, Belgorod region, Russia, Gubkin

Abstract. this paper considers the architecture of neural networks that can be used for semantic segmentation in order to automate the processing of photographs of the result of blasting operations to highlight the boundaries of objects.

Keywords: neural network; Feature Pyramid Network; ore mass segmentation.

На сегодняшний день буровзрывные работы являются одним из наиболее эффективных методов разрушения горных пород при разработке месторождений открытым способом, когда речь идет о массивах, которые не поддаются экскавации без предварительного рыхления. С увеличением глубины карьера эффективность ведения буровзрывных работ должна

возрастать: необходимо стремиться к оптимальному среднему куску взорванной горной массы с минимальным выходом негабарита [1].

Получение требуемого качества дробления пород после взрыва может обеспечить повышение производительности горного производства, снижение затрат на все последующие технологические операции, улучшение экологической обстановки в районе разрабатываемого месторождения.

В горнодобывающей промышленности энергия взрыва используется, главным образом, на разрушение горной породы, поэтому актуальной задачей является изучение гранулометрического состава породы после разрушения [2].

Размер частиц является наиболее важным показателем, отражающим качество дробления руд. Точная сегментация изображений руды является важной предпосылкой для обеспечения надежности статистики размеров частиц. Однако, учитывая разнообразие размеров и формы руд, влияние пыли и света, сложную текстуру и тени на поверхности руды, и особенно адгезию между рудами, трудно точно сегментировать изображения руды, и недостаточная сегментация может быть серьезной проблемой [3].

В связи с этим в работе рассмотрен вопрос применения алгоритмов семантической сегментации к задаче автоматизации обработки фотоснимков результата взрывных работ для выделения границ объектов.

Семантическая сегментация изображений – это разделение изображения на отдельные группы пикселей, области, соответствующие одному классу объектов с одновременным определением типа объекта в каждой области. Задача семантической сегментации является высокоуровневой задачей обработки изображений, относящейся к группе задач так называемого слабого искусственного интеллекта. Она является более сложной, чем задача классификации изображений и детектирования объектов, так как необходимо не только определять классы объектов, но и правильно выделять их границы на изображении. В то же время задача семантической сегментации заметно отличается от обычной сегментации, когда области объединяются по принципу цветового или текстурного сходства. Объекты могут иметь существенно различающиеся по фотометрическим характеристикам элементы и иметь значительный разброс показателей объектов внутри одного класса.

Большинство нейросетевых алгоритмов семантической сегментации имеют следующую архитектуру: сначала для выделения семантической информации изображение преобразуется в вектор признаков с помощью сети шифровальщика (encoder), затем вектор обратно разворачивается в матрицу изображения с помощью сети-дешифровальщика (decoder).

Для решения данной задачи мы используем готовые алгоритмы Segmentation models. Segmentation models - это библиотека python с нейронными сетями для сегментации изображений на основе фреймворка Keras (Tensorflow). Рассмотрим четыре модели нейронных сетей, представленной в этой библиотеке.

Модель U-Net считается одной из стандартных архитектур сверточной нейронной сети для задач сегментации изображений, когда нужно не только определить класс изображения целиком, но и сегментировать его области по классу, т. е. создать маску, которая будет разделять изображение на несколько классов [4].

U-net использует идею сквозных соединений (skip-connection) для сохранения пространственной информации. Карты признаков из сети-шифровальщика напрямую передаются и конкатенируются с картами признаков на соответствующих слоях сети-дешифровальщика, параллельно с обычными свёрточными слоями (рис. 1).

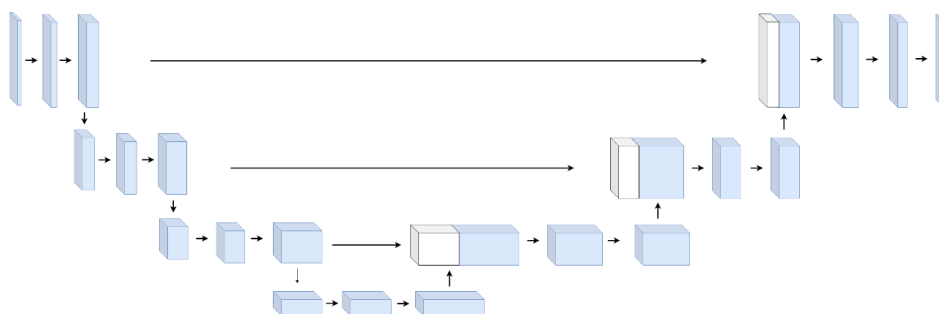


Рис. 1 – Модель U-net

Развитием модели U-net является сеть LinkNet. Кодер и декодер сети разбиты на несколько подблоков. LinkNet требует меньшие вычислительные ресурсы по сравнению с рассмотренной моделью U-net в силу быстрого уменьшения размера карт признаков. На входе сети уменьшение карт признаков происходит за счёт прореживания и свёртки с шагом равным 2, а в блоке кодера за счёт свёртки вместо прореживания. В декодере для восстановления размера изображений используются транспонированные свёрточные слои [5]. В отличие от U-net в LinkNet вместо конкатенации применяется сложение карт признаков. Модель сети представлена на рис. 2.

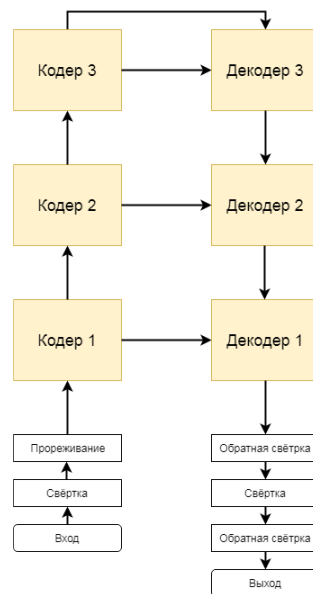


Рис. 2 – Модель LinkNet

Приём объединения карт признаков spatial pyramid pooling, с помощью которого сеть-дешифровальщик получает информацию о глобальном контексте, предложен в архитектуре PSPNet [6].

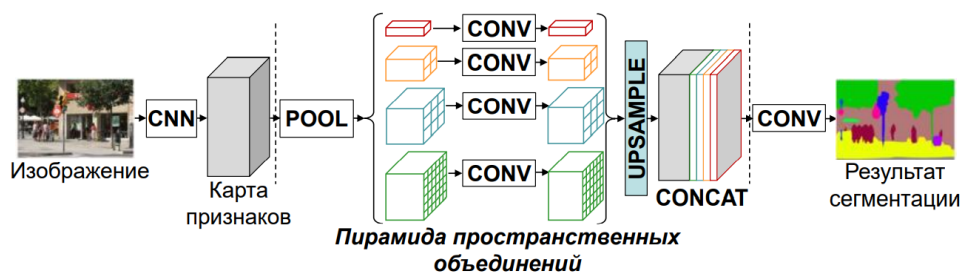


Рис. 3 – Модель PSPNet

Учитывая входное изображение, мы сначала используем CNN для получения карты признаков последнего сверточного слоя, затем применяется модуль анализа пирамиды для сбора различных представлений субрегионов, с последующим повышением дискретизации и конкатенацией слоев для формирования окончательного представления признаков, которое несет как локальную, так и глобальную контекстную информацию. Наконец, представление подается в сверточный слой для получения окончательного попиксельного предсказания [7].

Для решения задачи сегментации используется сеть Feature Pyramids, которая позволяет улучшить качество детектирования объектов с учётом большого диапазона их возможных размеров.

В Feature Pyramid Network (FPN) карты признаков, извлечённые последовательными слоями CNN с уменьшающейся размерностью, рассматриваются как некая иерархическая

«пирамида», называемая bottom-up pathway. При этом карты признаков и нижних, и верхних уровней пирамиды обладают своими преимуществами и недостатками: первые имеют высокое разрешение, но низкую семантическую, обобщающую, способность; вторые — наоборот.

Архитектура FPN позволяет объединить достоинства верхних и нижних слоёв при помощи добавления top-down pathway и lateral connections. Для этого карта каждого вышележащего слоя увеличивается до размера нижележащего и их содержимое поэлементно складывается. В итоговых предсказаниях используются результирующие карты всех уровней. Схематично это можно изобразить так:

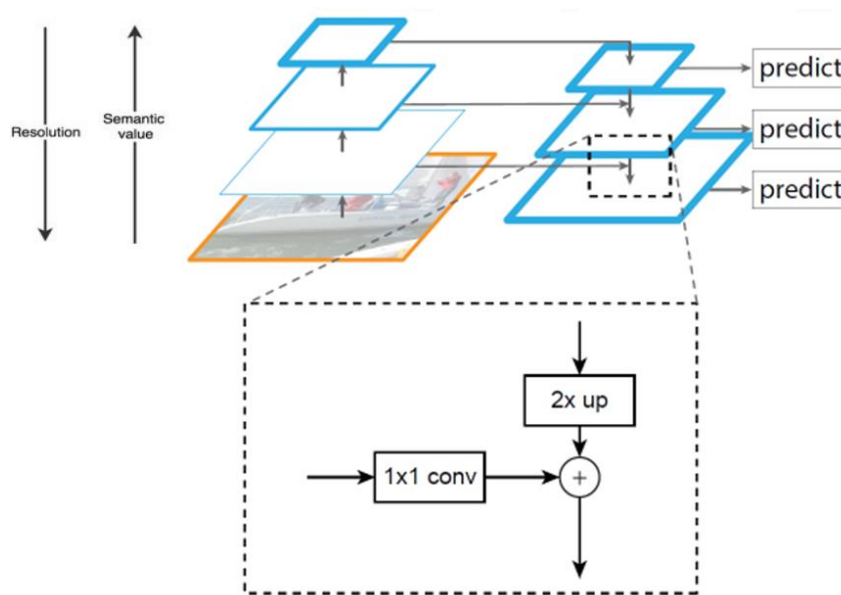


Рис. 4 – Модель FPN-сети [8]

План работы

Для решения задачи сегментации кусков руды на фотографии необходимо в перспективе будет реализовать следующие этапы:

- создание обучающих выборок — предполагается разметка изображений в графическом редакторе (например, Paint) с выделением трех классов: фон, куски руды и их границы;
- выбор архитектуры алгоритма — в качестве структуры сети целесообразно использовать FPN-сеть;
- выбор наиболее подходящей функции потерь — целесообразно использовать `categorical_crossentropy`, так как здесь предстоит работать с более чем двумя классами;
- обучение и выполнение алгоритма — для обучения необходимо использовать алгоритм «Adam», как наиболее эффективный на сегодняшний день алгоритм стохастического адаптивного градиентного поиска.

Заключение

На основании литературного анализа нейросетевых структур был сделан вывод, что целесообразно для решаемой задачи использовать сеть FPN, так как ее архитектура наилучшим образом соответствует заданию.

На изображениях расположены куски руды, которые имеют разную геометрию: какие-то крупней, какие-то мельче. Расположены они по всей плоскости изображения. Это подходит под изменяющееся разрешение, что позволит с одинаковым качеством сегментировать куски руды от больших до малых размеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление качеством взрывной подготовки горной массы на основе оптимизации параметров БВР. URL: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/13010-upravlenie-kachestvom-vzryvnoj-podgotovki-gornoj-massy-na-osnove-optimizatsii-parametrov-bvr> (дата обращения: 10.10.2021 г.).
2. Добрынин, А. А. Метод оперативной оценки качества дробления горных пород взрывным способом / А. А. Добрынин, И. А. Добрынин // Записки Горного института. – 2009. – Т. 180. – С. 71-74.
3. Wang W. et al. An improved boundary-aware U-Net for ore image semantic segmentation //Sensors. – 2021. – Т. 21. – №. 8. – С. 2615.
4. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation //International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. – Springer, Cham, 2015. – С. 234-241.
5. Дмитриев Е. А., Бородин А. А., Максимов А. И. Автоматическое обнаружение строений с помощью алгоритмов бинарной семантической сегментации //Сборник трудов ИТНТ-2019. – 2019. – С. 206-211.
6. Горбачев В. А. и др. Семантическая сегментация спутниковых снимков аэропортов с помощью свёрточных нейронных сетей //Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44. – №. 4. – С. 636-645.
7. Zhao H. et al. Pyramid scene parsing network //Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2017. – С. 2881-2890.
8. Lin TY et al. Сети функциональных пирамид для обнаружения объектов // Материалы конференции IEEE по компьютерному зрению и распознаванию образов. - 2017. - С. 2117-2125.

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ КУСКОВ РУДЫ ПОСЛЕ ВЗРЫВА В КАРЬЕРЕ НА ФОТОГРАФИИ

Коренев А.В.¹, Михайлов И.С.¹, Устимов В.Ю.¹, Полещенко Д.А.²

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС»

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

² Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (Губкинский филиал), 309186

Российская Федерация, Белгородская обл. г. Губкин, ул. Комсомольская, 16

korenev01@mail.ru, mikhaylov.is@yandex.ru, po-dima@yandex.ru

Аннотация. в данной работе рассмотрено применение FPN-сети для семантической сегментации снимков руды, полученных после взрывных работ.

Ключевые слова: нейронная сеть; FPN-сеть; сегментация рудной массы.

PROSPECTS FOR NEURAL NETWORK SEGMENTATION IN THE PHOTO OF ORE PIECES AFTER AN EXPLOSION IN A QUARRY

Korenev A.V.¹, Mikhailov I.S.¹, Ustimov V.Y.¹, Poleshenko D.A.²

¹ 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

² Branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research Technological University "MISIS" in Gubkin, Belgorod region, Russia, Gubkin

korenev01@mail.ru, mikhaylov.is@yandex.ru, po-dima@yandex.ru

Abstract. the paper considers the use of FPN-network for semantic segmentation of ore images obtained after blasting operations.

Keywords: neural network; Feature Pyramid Network; ore mass segmentation.

Вступление

В горнодобывающей отрасли промышленности взрывные работы проводятся для разрушения горных пород [1]. Эффективность их ведения может улучшить такие показатели производства, как производительность, экологическая обстановка в районе разрабатываемого месторождения, а также снизить затраты на все последующие технологические операции [2]. Все это приводит к актуализации задачи изучения гранулометрического состава породы после

разрушения. Данная задача может быть решена с помощью семантической сегментации фотоснимков результатов взрывных работ. В качестве архитектуры нейронной сети была выбрана FPN-сеть, так как она наилучшим образом способствует достижению поставленной цели.

Создание обучающей выборки и тестирование нейронной сети

Для обучения нейронной сети, как известно, необходим набор данных, называемых обучающей выборкой. Чем больше данных, тем лучше будут результаты обучения (в нашем случае сегментации). Наша обучающая выборка основывается на снимках руды, полученных в результате работы квадрокоптера. Каждый снимок имеет разрешение 3936x5248 и сохранен в файле формата *.jpg. После выбора репрезентативных изображений произведена ручная обработка фотографий для получения соответствующих меток. Изображения имели только две категории: руда и фон [3].

В силу высокой трудоемкости ручной разметки на первом этапе разметке подверглись куски наиболее крупного диаметра с размером до 160 мм в масштабе фотографии.

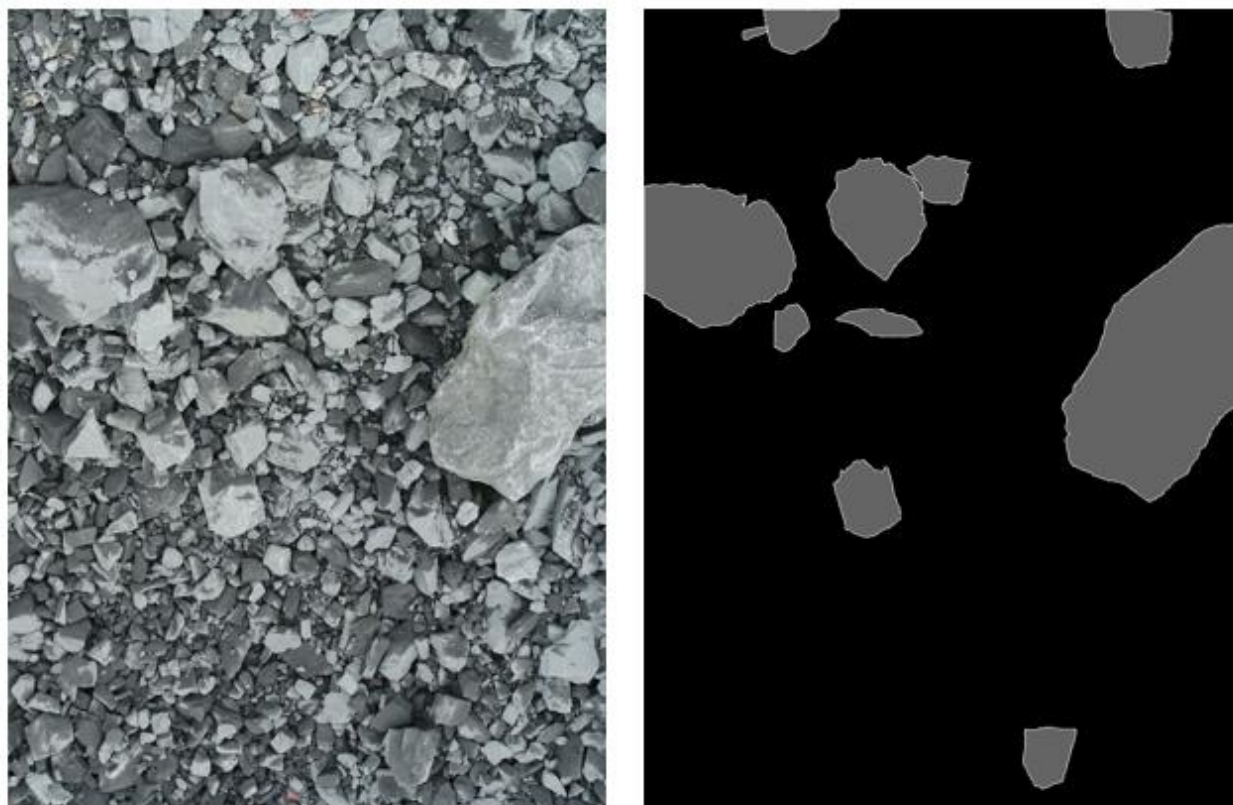


Рис. 1 – Разметка кусков руды большого диаметра

Таким образом, по указанной технологии было размечено 40 изображений. Сеть обучалась в течение 10 эпох и достигла точности 97,6% на обучающей выборке (см. рис. 2).

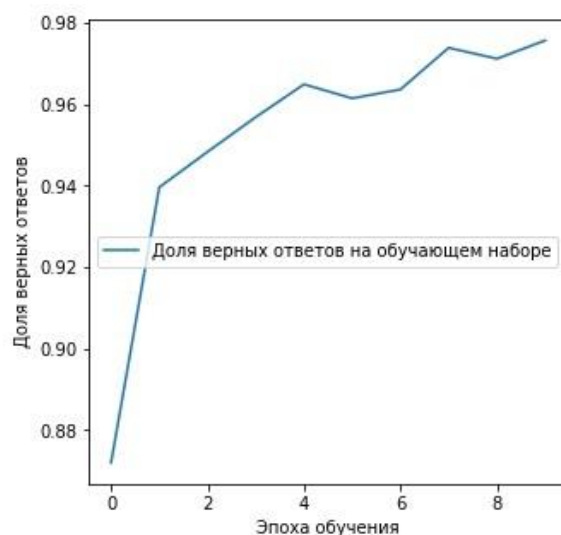


Рис. 2 – Доля верных ответов на обучающем наборе

После ее создания было проведено тестирование нейронной сети, в ходе которого было выяснено, что она работоспособна. Результат работы представлен на рисунке 3.

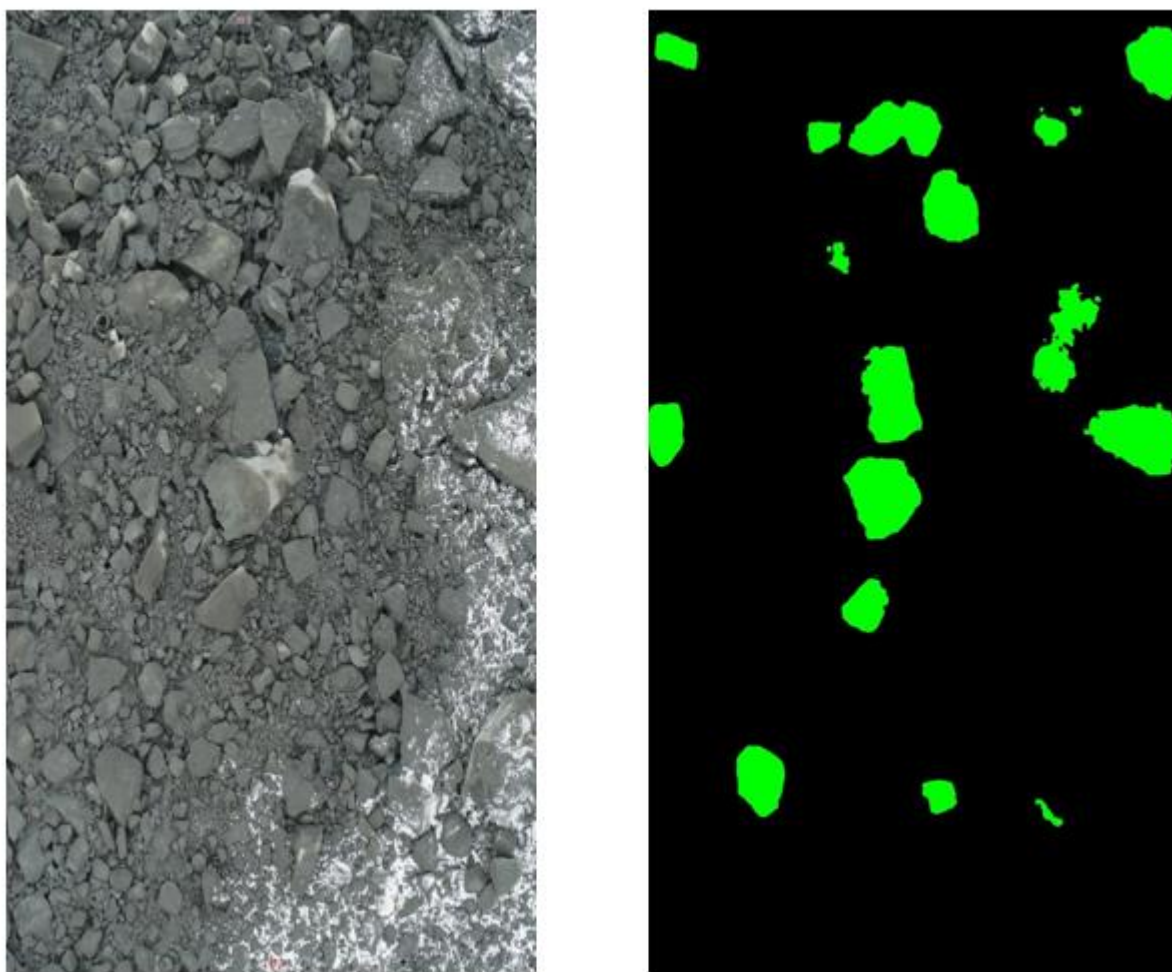


Рис. 3 – Результат работы нейронной сети

Из снимков видно, что нейронная сеть смогла распознать и сегментировать часть крупных кусков руды. Также она попыталась распознавать мелкие куски. Следует заметить, что некоторые крупные куски руды сегментированы неполностью. На основании полученного результата можно сделать вывод, что нейронная сеть FPN способна решать поставленную задачу – сегментацию кусков руды на фотографии. Также понятно, что для улучшения качества сегментации необходимо более детализированная разметка и увеличение объема обучающей выборки.

Заключение

Ввиду того, что был получен положительный результат при данной разметке, следующим этапом планируется более детальная покраска класса крупности более 100 мм. Также будет проведен анализ методов определения границ сегментированных кусков руды на изображении с целью определения их геометрических размеров и дальнейшего построения распределения по классам крупности кусков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление качеством взрывной подготовки горной массы на основе оптимизации параметров БВР. URL: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/13010-upravlenie-kachestvom-vzryvnoj-podgotovki-gornoj-massy-na-osnove-optimizatsii-parametrov-bvr> (дата обращения: 11.10.2021 г.).
2. Добрынин, А. А. Метод оперативной оценки качества дробления горных пород взрывным способом / А. А. Добрынин, И. А. Добрынин // Записки Горного института. – 2009. – Т. 180. – С. 71-74.
3. Wang W. et al. An improved boundary-aware U-Net for ore image semantic segmentation //Sensors. – 2021. – Т. 21. – №. 8. – С. 2615.

**РАЗРАБОТКА КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ МУТНОСТИ СЛИВАЕМОГО
ПРОДУКТА ИЗ СГУСТИТЕЛЯ №2 ЦЕХА ХВОСТОВОГО
ХОЗЯЙСТВА АО «СГОК»**

Уварова Л.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
uva1865@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается вопрос по внесению коррективов в работу системы управления сгустителя №2 АО «Стойленский ГОК», связанный с интеграцией автоматического контура регулирования мутности сливаемого из сгустителя продукта с контролем в приемнике осветленной воды. Это позволит повысить эффективность технологического процесса, снизить затраты на флокулянт, так как новая система управления позволит исключить субъективную оценку мутности слива обслуживающим персоналом.

Ключевые слова: контур регулирования; мутность слива; флокулянт; сгуститель.

**DEVELOPMENT OF A TURBIDITY CONTROL LOOP FOR THE PRODUCT
DISCHARGED FROM THE THICKENER NO. 2 OF THE TAILINGS
FACILITY OF SGOK JSC**

Uvarova L.V.

*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
uva1865@mail.ru*

Abstract. The article deals with the issue of making adjustments to the operation of the control system the thickener with control in the clarified water receiver. This will increase the efficiency of the technological process, reduce the cost of flocculant, as the new control system will eliminate the of the thickener No. 2 of Stoilensky GOK JSC, associated with the integration of an automatic turbidity control circuit of the product drained from subjective assessment of the turbidity of the drain by the service personnel.

Keywords: control loop; turbidity of the drain; flocculant; thickener.

Стабильная работа сгустителя обычно достигается путем регулирования дозы флокулянта для поддержания стабильного уровня постели. Это может быть сделано путем предоставления возможности увеличения уровня постели до заданной точки и последующей настройки дозы флокулянта для поддержания этого уровня. АСУ ТП на пульпонасосной станции реализуется установленными шламовыми насосами с ЧРП удаленным вводом. На основе оборудования пульпонасосной станции построен контур регулирования плотности постели. Обратная связь реализуется датчиком плотности пульпы. На каждую линию откачки предусмотрена своя подсистема автоматического регулирования.

В настоящее время недостатком действующей системы управления является отсутствие контура управления чистотой слива сгустителя. Вследствие ручного управления оператором отслеживание загрязненности слива не удовлетворяет технологическому регламенту. Отступление от норм технологического регламента по качеству воды недопустим и для удержания качества технологической воды в рамках регламента оператор, как правило, добавляет расход флокулянта сверх нормируемого количества, что влечет за собой неэкономичный расход ресурсов, а так же финансовые потери из-за высокой стоимости флокулянта.

Моделирование системы.

Для интеграции контура мутности слива сгустителя №2 АО «Стойленский ГОК» в существующую АСУ ТП проработаны вопросы управления плотности пульпы для каждой из четырех линий вывода сгущенного продукта. В качестве управления принято использовать положение заслонки с электропозиционером AUMA, которая корректирует расход флокулянта. Для измерения мутности в сливе сгустителя применяется специализированная система CUS31. Для регулирования мутности слива применяется регулятор, который будет встраиваться в существующую систему управления, реализованную на базе станции децентрализованной периферии ET-200S.

Функциональная схема системы автоматического регулирования мутности слива на выходе сгустителя представлена на рисунке 1 [1,3].

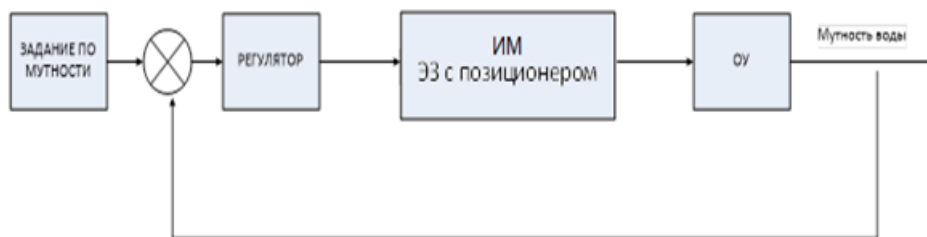


Рис. 1 – Функциональная схема контура регулирования мутности слива сгустителя №2

Математическая модель по мутности слива состоит из одного контура и построена на основании функциональной схемы [1,2,3].

Результаты моделирования представлены на рис. 2,3,4.

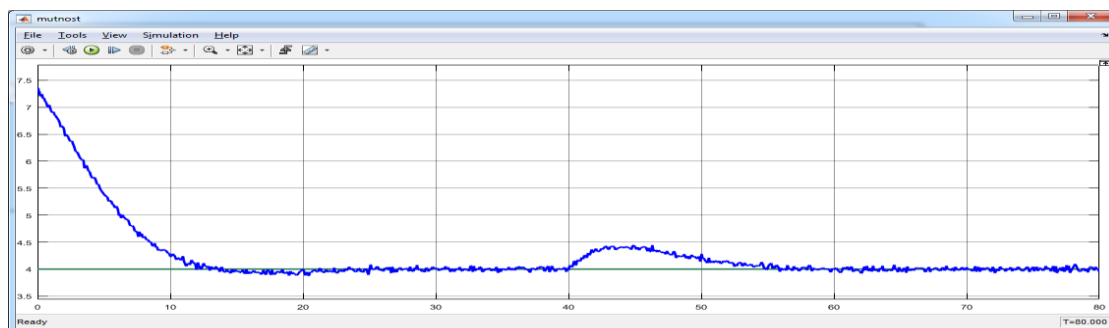


Рис. 2 – График переходного процесса по мутности

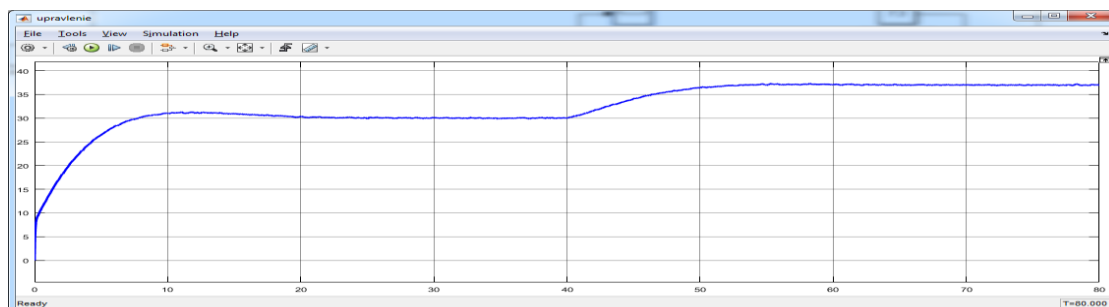


Рис. 3 – График переходного процесса по положению заслонки

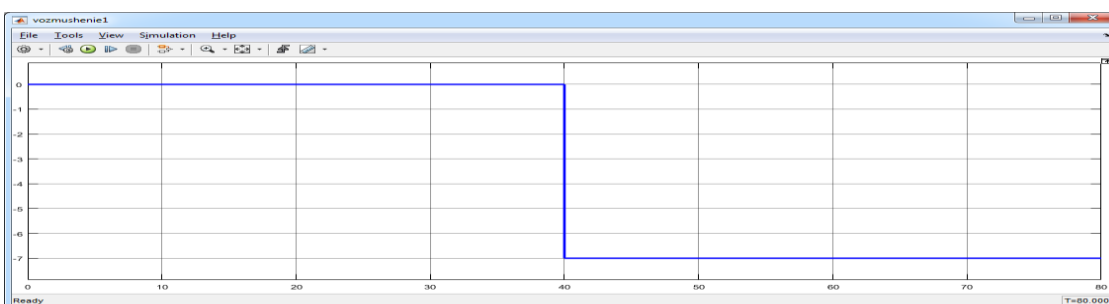


Рис. 4 – График возмущения по каналу управления

В целом результаты моделирования можно признать удовлетворительными и использовать полученные коэффициенты регулятора при первичной настройке реальной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г.Б. Евгеньев, С.С. Гаврюшин, А.В. Грошев, М.В. Овсянников, П.С. Шильников Основы автоматизации технологических процессов и производств. – Москва: Издательства МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015.- 443 с.
2. Дьяконов В., Круглов В., MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. - Санкт-Петербург.: Питер. 2009.-448с.
3. Шандров Б.В., Чудаков А.Д. Технические средства автоматизации. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. - 368 с.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДАВЛЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Фомин А.В., Жуков П.И.

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

Аннотация. В статье изучаются особенности работы контура давления нагревательной печи и решается задача построения математической модели зависимости давления на основе регрессионного анализа.

Ключевые слова: ПИ-регулятор; нагревательная печь; регрессионный анализ

APPLY OF REGRESSION MODELS TO DESCRIBE AN IN-FURNACE PRESSURE IN THE HEATING SPACE

Fomin A.V., Zhukov P.I.

*Sary 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, Sary Oskol, microdistrict named after Makarenko, 42*

Abstract. The article considers the approach to find a mathematical model of in-furnace pressure base on regression analysis. The subject matter of this work is researching a way of increasing of energy efficiency of heating furnace in metallurgy industry by the technological data analysis.

Keywords: PI-controller; heating furnace; regression analysis.

Введение

Металлургический комплекс является энергоемким производством, потребляя значительное количество ресурсов и топлива. Одним из неотъемлемых этапов в производстве металлопродукции, эффективность которого напрямую определяет стоимость готового продукта, является обработка металла в нагревательных печах. В частности, они являются одними из основных потребителей энергии в составе цеха проката металла. Поэтому решение

задачи энергосбережения при нагреве металла перед прокаткой является перспективной и актуальной проблемой.

Современные исследования по повышению энергоэффективности печей нагрева металла можно условно разделить на несколько направлений:

1. Большое количество работ направленных на построение математических моделей тепловых процессов, происходящих внутри печей нагрева и построение на основании них кривых нагрева металла. [1,2,3,4]. Однако, несмотря на постоянное совершенствование и усложнение получаемых моделей, ключевым недостатком математического подхода является значительная сложность многозонных печей нагрева и значительную математическую сложность в описании всех процессов внутри печи.

2. Исследования влияния различных конструкций горелочных устройств, тепловых режимов, рекуперации энергии: применение скоростных, рекуперативных горелок, переход на импульсный режим отопления [5,6]. Однако, подобные решения сопряжены с технической модернизацией печей, значительных изменений режимов и технологии нагрева.

3. Минимизация перерегулирования по температуре и повышение точности поддержания параметров при помощи адаптивного управления на основе ПИД-регуляторов для отдельных зон внутри многозонной печи [7].

Основным недостатком данных методов, является заметно малое количество переходных процессов по температуре относительно всего времени работы печей, чтобы эффект от их применения стал достаточно заметен.

При этом, большая часть исследования в рамках математического моделирования, посвящена управлению именно тепловым режимом в печи, а конкретно подачи газа для сгорания в задаче регулирования температуры в зонах печи. Однако, на процесс нагрева в газовых нагревательных печах (в том числе на качество рекуперации энергии), значительно влияет такой параметр как внутрипечное давление (тепломассовый переток внутри печи в сторону боровов дымососа). Исследованиям влияния давления на работу печи уделяется немного внимания [8,9], несмотря на то, что это критически влияющий параметр.

В данной работе предлагается изучить основные параметры, влияющие на внутрипечное давление и поставить задачу на модернизацию алгоритма работы контура регулирования давления в печи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта управления в работе выступает печь нагрева металла перед прокатом сортовых заготовок. Пространство проходных нагревательных печей разделено на зоны: подогрева, нагрева и выравнивания с разными по видам и мощности горелками.

Основные технологические требования по качеству управления сводятся к поддержанию температур в зонах печи в заданном по технологической карте нагрева диапазоне.

Регулирование температуры в зонах печи осуществляется классическим ПИД-контуром управления с применением адаптации в виде таблицы переключений параметров. [10].

Контур регулирования давления представляет собой классический контур ПИД-регулирования с обратной связью. Стоит отдельно отметить, что печной шибер как исполнительный механизм является достаточно инерционным ввиду своих размеров.

Однако, данная схема управления не учитывает влияние открытия и закрытия заслонок загрузки и выгрузки металла. Открытие заслонки приводит к существенному изменению давления внутри печи, тепловым потерям в зонах загрузки и выгрузки. Попытка регулирования давления с открытыми заслонками не имеет смысла, так как, по сути, открытие заслонок является периодическим возмущением и в его компенсации нет необходимости.

До открытия заслонки печь находится в относительно стационарном режиме (при отсутствии переходных процессов из-за смены уставок) по температуре и давлению. Открытие заслонок приводит к значительному изменению внутрипечного давления в сторону его уменьшения, шибер реагирует на это отработкой на закрытие. Закрытие шибера приводит к уменьшению тепломассового перетока внутри печи в сторону боровов дымососа, в результате чего в зонах начинает расти температура. Регуляторы температуры зон реагируют на это снижением расхода газа, с целью компенсировать рост температуры. По сути, печь находится в режиме компенсации возмущения, вызванного изменением давления. По завершению цикла погрузки или выгрузки металла (порядка 1-1.5 минут при штатной работе), заслонки закрываются, что приводит к росту давления внутри печи. Контур давления реагирует на это открытием шибера, внутрипечной переток возрастает, температура в зонах падает и в результате возрастает расход газа в зоны. Печь снова переходит в нестационарный режим, но в данном случае по причине окончания действия возмущения.

Данный режим приводит к снижению точности регулирования температуры в зонах, тепловым потерям для компенсации потерь после открытия шибера, излишним нагрузкам на исполнительные механизмы.

Для минимизации негативных сторон данного режима регулирования, предлагается разработать и реализовать дискретный режим регулирования давления в печи, с учётом факта работ заслонок загрузки и выгрузки. При этом, необходимое изменение управляющего воздействия по положению шибера предлагается рассчитывать не на основе ПИД-алгоритма, а с помощью математической модели давления в печи.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Внутрипечное давление зависит от нескольких параметров:

1. Непосредственно положения шибера, напрямую влияющего на переток дымовых газов в трубу;
2. Текущей тепловой мощности печи.

Увеличение мощности приводит к повышению расхода газа и теплового потока, что по уравнению Менделеева-Клайперона приводит к росту давления при прочих равных. Одновременно, увеличение расхода газа (и соответственно воздуха для сгорания), так же приводит к росту давления, так как увеличивается количество вещества в пространстве печи.

Изменение тепловой мощности печи носит большую важность так как является нестационарным и описать его полное влияние изменения тепловой мощности печи не всегда представляется возможным. Для иллюстрации сказанного ранее рассмотрим уравнение Менделеева-Клайперона в ситуации для реального газа (1)

$$p \cdot V = Z(p, T, V) \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \quad (1)$$

Где, p – давление, МПа; V – объем газа, м^3 ; $Z(p, T, V)$ – функция коэффициента сжимаемости газа, зависящая от температуры, объема и давления газа, значения которой лежат в диапазоне от 0 до 1; m – масса, г; M – молярная масса, г/моль; R – универсальная газовая постоянная, ($\text{МПа} \cdot \text{м}^3 / \text{К}$); T – абсолютная температура, К. Перепишав (1) относительно давления и заменив массовое выражение количества вещества на объемное получаем следующее уравнение (2)

$$p = \frac{Z(p, T, V) \cdot \frac{V_n}{V_m} \cdot R \cdot T}{V} \quad (2)$$

Где, V_n – объем газ при нормальных условиях, которые составляют $p_0 = 0,1013$ МПа, $T_0 = 293,15$ К (или 20 °С). Известно, что увеличение мощности печи ведет к увеличению расхода газозоудшной смеси (V_n), что в свою очередь приводит к росту температуры внутри печи и, как следствие к росту температуры газа (T). Очевидно, что давление зависит от данных параметров, однако на эту зависимость накладывается ограничение $Z(p, T, V)$.

При нормальных условиях $Z(p_0, T_0, V_n) = 1$, для остальных условий данный коэффициент зависит от истинного объема газа (3) [10]

$$Z(p,T)=\frac{p \cdot V \cdot T_0}{P_0 \cdot V_n \cdot T} \quad (3)$$

Данное уравнение хорошо подходит для камерных печей, где отсутствуют серьезные процессы тепломассопереноса, связанные с изменением внутрепечного давления, описанного ранее. Для проходных печей справедливо утверждение, что тепломассоперенос нестационарный по времени, исходя из чего уравнение обретает динамику не начальных параметров. Очевидно, что точно померять коэффициент сжимаемости реального газа (в данном случае газовоздушной смеси) можно только в контролируемых условиях, когда известны $p(t)$, $V(t)$ и $T(t)$ в каждый момент времени t . В контексте реального производства при постоянно изменяющихся режимах работы, имеется возможность получить лишь приблизительные оценки, которые могут внести существенную погрешность в итоговую модель и сделать невозможным её использования в контуре управления.

В качестве альтернативного подхода для моделирования давления в печи предлагается рассмотреть аппарат регрессионного анализа и построить зависимость обобщенной линейной регрессии на основе технологических данных. В качестве независимых переменных анализа выступает: суммарный расход газа (F) (по всем зонам печи) и положение шиберов (U). В качестве целевой переменной выступает давление (P), таким образом, задача является двумерной линейной регрессией вида (5)

$$f(F,U) = \beta_0 + \beta_1 \cdot F + \beta_2 \cdot U + \varepsilon \quad (5)$$

Посчитав параметры β модели методом наименьших квадратов, получаем зависимость вида – (6)

$$f(F,U) = 7.73 + 1.7 \cdot 10^{-3} F + 1.82 \cdot 10^{-1} U + \varepsilon \quad (6)$$

Подставим имеющиеся данные по расходу и положению шиберов и получим следующий график аппроксимации (рис. 1)

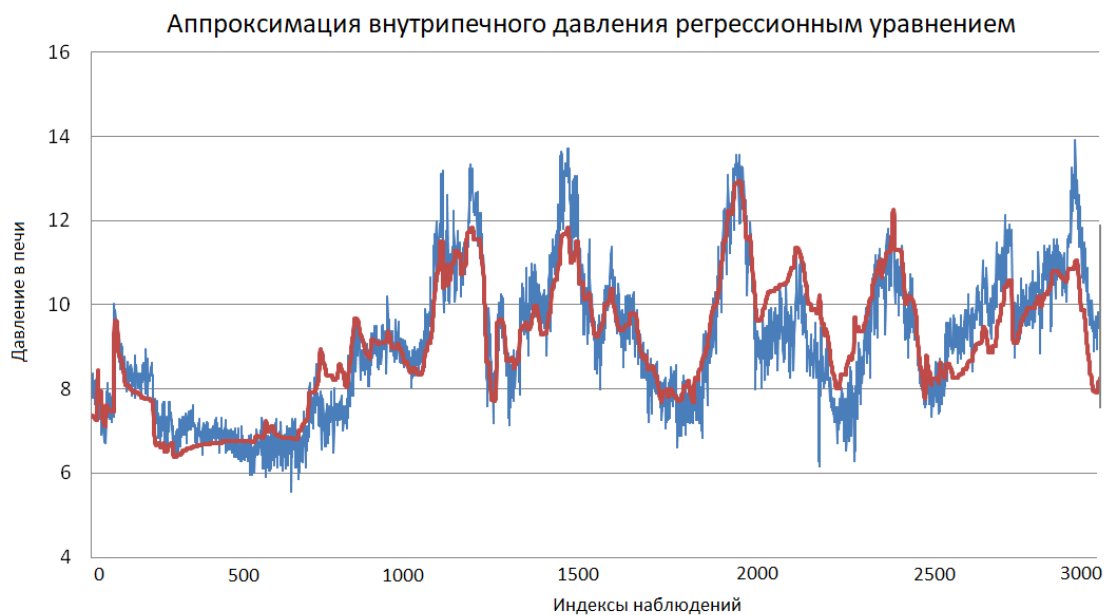


Рис. 1 – Результат аппроксимации

Достоверно вычислить ошибку ε не представляется возможным, поэтому воспользуемся еще оценкой. Для этого рассчитаем коэффициент детерминации (R^2). Для расчетов воспользуемся формулой – (7)

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \quad (7)$$

Где, SS_{res} – это сумма квадратов остатков регрессии вида (8), а SS_{tot} – общая сумма квадратов вида (9).

$$SS_{res} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (8)$$

$$SS_{tot} = \sum_{i=1}^n (y_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j)^2 \quad (9)$$

Где, y_i – i -й эталонный результат, $\hat{y}_i$ – это рассчитанный моделью i -й выход. Рассчитаем на всей выборке показатели (8) и (9), после чего обратимся к формуле (7) и получим, что коэффициент детерминации для данной модели равен 0,81. В купе с графиком аппроксимации, можно сделать вывод о хорошем качестве полученной модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученную математическую модель можно использоваться для нахождения зависимости давления в печи, от параметров положения шибера и суммарного расхода газа. Если выразить полученное уравнение относительно положения шибера, то можно получить закономерность и применить её в задаче построения дискретно-непрерывного регулятора, с целью учёта в работе влияния технологических возмущений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинкул С.И., Бiryюков А.Б., Иванова А.А., Гнитиев П.А. Прогнозная математическая модель процесса нагрева металла в печах с шагающими балками // *Металлург.* 2018. № 1. С. 24-28.
2. Бiryюков А.Б., Иванова А.А. Диагностика температурного состояния металла при его тепловой обработке в печах непрерывного действия // *Металлург.* 2018. № 4. С. 33-37.
3. Андреев С.М. Прогнозирование времени нагрева заготовок в условиях нестационарного режима работы методических печей//*Электротехнические системы и комплексы.* 2017. №3(36). С. 35-39.
4. 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.)
5. Вохмяков А. М., Казяев М. Д., Казяев Д. М. Исследование конвективного теплообмена в проходной печи, оснащенной скоростными горелками // *Цветные металлы.* – 2011. – №. 12. – С. 89-93. Скоростник!
6. Бiryюков А. Б. Анализ мероприятий по повышению значения коэффициента использования топлива при нагреве металла в печах // *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит.* – 2013. – №. 10 (116)
7. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко 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.
8. Парсункин Б. Н., Самарина И. Г. Система автоматического энергосберегающего управления на основе математической модели газодинамического режима нагревательной методической печи // *Электротехнические системы и комплексы.* 2017. № 2. С. 55-60
9. Парсункин Б.Н., Васильев М.И. Энергосберегающее нечеткое управление давлением в рабочем пространстве нагревательных печей // *Электротехнические системы и комплексы.* - Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2014. - С. 81-90

10. 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.

11. Лапшин В. и др. Коэффициент сжимаемости газов и газоконденсатных смесей: экспериментальное определение и расчеты //Вести газовой науки. – 2011. – №. 1 (6), – С. 120-131

**РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА
ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АСУ ТП ОБОГАЩЕНИЯ
ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА**

Цыганков Ю.А., Полещенко Д.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический институт «МИСиС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
tsy-18@yandex.ru, po-dima@yandex.ru*

Аннотация. В статье представлен процесс разработки прогнозирующей подсистемы с использованием алгоритмов машинного обучения для совершенствования существующей АСУ ТП обогащения железорудного концентрата, что позволяет повысить эффективность функционирования производственного передела без внесения изменений в ход технологического процесса – только за счет модернизации алгоритмического обеспечения системы управления. Данный подход к цифровизации обеспечивает учет знаний человека-оператора, что положительно влияет на качество разрабатываемой системы.

Ключевые слова: горно-обогатительная отрасль; цифровизация; прогнозирующая подсистема; нейронная сеть; машинное обучение.

**DEVELOPMENT OF A SUBSYSTEM FOR PREDICTING IRON CONTENT TO
IMPROVE THE AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEM FOR THE
ENRICHMENT OF IRON ORE CONCENTRATE**

Tsygankov Y.A., Poleshchenko D.A.

*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
tsy-18@yandex.ru, po-dima@yandex.ru*

Abstract. The article presents the process of developing a predictive subsystem using machine learning algorithms to improve the existing automated process control system for the enrichment of iron ore concentrate, which makes it possible to increase the efficiency of the production process without making changes in the course of the technological process - only by upgrading the algorithmic support of the control system. This approach to digitalization ensures that the knowledge

of the human operator is taken into account, which positively affects the quality of the system being developed.

Keywords: the mining and processing industry; digitalization; prediction subsystem; neural network; machine learning.

В данной работе рассматривается применение одного из методов искусственного интеллекта – нейронных сетей, для создания прогнозирующего аппарата посредством разработки набора моделей агрегатов процесса обогащения железорудного сырья. Технологический процесс обогащения железорудного концентрата на горно-обогатительном предприятии представляет собой дискретно-непрерывную последовательность производственных операций, осуществление которых происходит в условиях вариативности физико-механических свойств поступающего сырья, обусловленной непостоянством минералогического состава, дрейфа параметров оборудования вследствие эксплуатационного износа частей и прочих особенностей, осложняющих автоматизированное управление [1]. Контроль качественного показателя выходного продукта, характеризующего работу обогатительного передела – процентного содержания железа в концентрате – не реализован в автоматизированном режиме и производится только посредством лабораторного анализа, отбор проб для которого выполняется дискретно, с интервалом, значительно превышающим продолжительность технологического процесса. Это значительно усложняет управление технологическим переделом, поскольку его необходимо реализовывать с соблюдением регламентов, учетом нестабильности внешних факторов, многие из которых недоступны в оперативном режиме или не измеряются вовсе, при этом выполняя требования по достижению целевого значения содержания железа и общим показателям производительности. Управление процессом необходимо производить с учетом перечисленных негативных аспектов для достижения требуемого значения качественного показателя выходного продукта – процентного содержания железа, вариация значений которого допускается лишь в пределах 66,5-67,5%.

Актуальным в данных условиях представляется применение методов предиктивного управления, основанного на построении и использовании моделей технологических объектов. В исследовании предполагается выполнить разработку модели процесса обогащения, способной осуществлять прогнозирование хода процесса на основе анализа текущих технологических показателей [2].

Широко известным использованием данного подхода системы усовершенствованного управления - APC-системы. Они позволяют в условиях многопараметричности и нестационарности дискретно-непрерывного распределенного технологического процесса

оптимизировать значения управляющих переменных, стабилизируя в эффективной области технологические показатели, при этом получая итоговый продукт требуемого качества. Ядром этих систем являются модели технологических объектов, применяемые для прогнозирования изменений процесса, на основе результатов которого осуществляется подбор значений управляющих параметров [3]. На сегодняшний день при реализации APC-систем применяются широко распространенные классические методы идентификации, которые позволяют получать модели многопараметрических объектов, функционирование которых описывается нелинейными многомерными зависимостями, что характерно для процессов горно-обогатительного производства, с точностью, обеспечивающей управление «по-среднему», что оказывает влияние на эффективность функционирования системы в целом. Поэтому актуальной становится задача построения достаточно точной модели процесса обогащения железорудного концентрата на основе ретроспективных данных. В данных условиях для построения моделей технологических объектов оправданным является применение интеллектуальных алгоритмов, и, в частности, одного из методов машинного обучения – аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС). Нейронные сети обладают способностью аппроксимации и экстраполяции сложных нелинейных многомерных функций, что позволяет обосновать их использование в рамках представленной задачи.

Первоначально, для построения прогнозирующей системы необходимо было реализовать единую модель процесса обогащения, что довольно затруднительно по причине указанных нестационарностей и сложного характера функциональных зависимостей, описывающих изменение технологических переменных. В процессе выполнения исследования технологические объекты были поэтапно объединены в единую схему, с учетом измеряемых сигналов. В результате была получена модель процесса обогащения концентрата, представленная на рис. 1, которая состоит из 10 отдельных моделей агрегатов передела. Технологическим параметром, обеспечивающим объединение моделей, стал сигнал плотности пульпы, измеряемый в выходящем из агрегатов потоке продукта, поскольку для осуществления процесса обогащения важным является соблюдение плотностного режима.

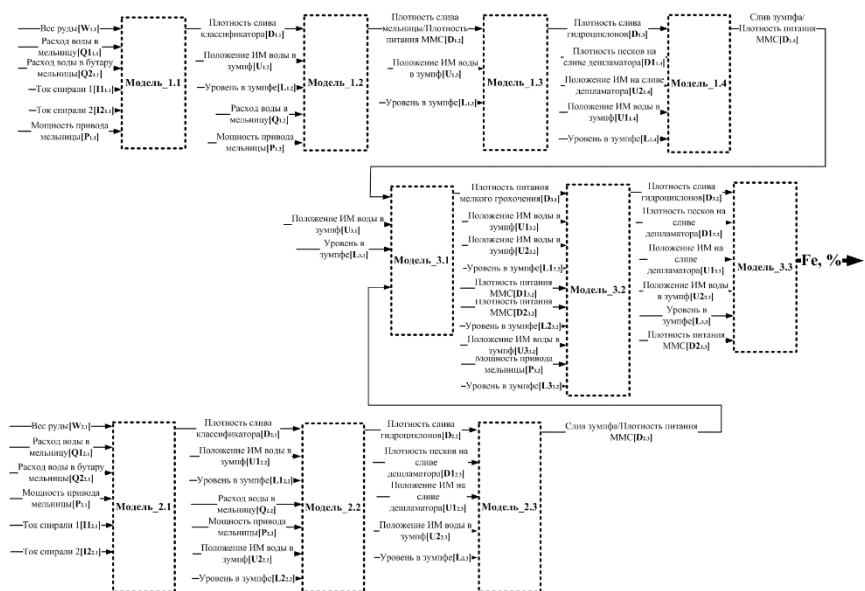


Рис. 1 – Схема нейросетевых моделей агрегатов процесса обогащения

Первоначально в работе были реализованы и тестировались модели, разработанные с применением аппарата регрессионного анализа. Наилучший результат был достигнут при использовании функциональной зависимости, известной как полином Колмогорова-Габора, широко используемый для аппроксимации нелинейных многопараметрических зависимостей.

В качестве численных показателей точности функционирования моделей были использованы коэффициент корреляции ($corr\ k$) выходных векторов модели и реальных значений сигнала и значение СКО (MSE). В ходе проведения представленных экспериментов, была выявлена необходимость применения агрегированного критерия, предотвращающего ситуацию разнонаправленной оценки работы модели посредством применяемых ранее численных показателей. Данный критерий был обозначен $crit\ A$ (1):

$$critA = \frac{corr\ k}{MSE}, \quad (1)$$

где $corr\ k$ - значение коэффициента корреляции, MSE - значение СКО.

Следующим этапом работы стала оценка возможности применения для моделирования работы технологических агрегатов передела обогащения классических многослойных ИНС.

В ходе детального анализа выходных векторов моделей и исходных сигналов, было замечено, что при функционировании как регрессионных, так и многослойных ИНС у указанных временных рядов наблюдается выраженный эффект автокорреляции. Этот факт является негативным для прогнозирующих моделей, и возникает в результате ошибочной избыточной оценки степени влияния какого-либо из входных сигналов на выходной. Наличие

подобного явления сигнализирует о неполной интерпретации моделью входных данных и влечет за собой снижение качества прогноза при подаче на вход данных, значительно удаленных по времени от обучающей выборки [4].

Для предотвращения данного явления в работе была исследована возможность применения аппарата глубоких нейронных сетей. Модифицированные алгоритмы обработки данных и обучения обеспечивают достижение более высоких вычислительных возможностей, нежели с использованием классических многослойных сетей. Первоначально была осуществлена попытка применения таких базовых глубоких архитектур, как многослойные, сверточные (1-D) и LSTM-сети [5-7]. Однако это не позволило достичь желаемого результата с точки зрения точности прогнозирования. Поэтому далее в работе исследовалась возможность применения гибридной структуры, архитектура которой представлена на рисунке 2.

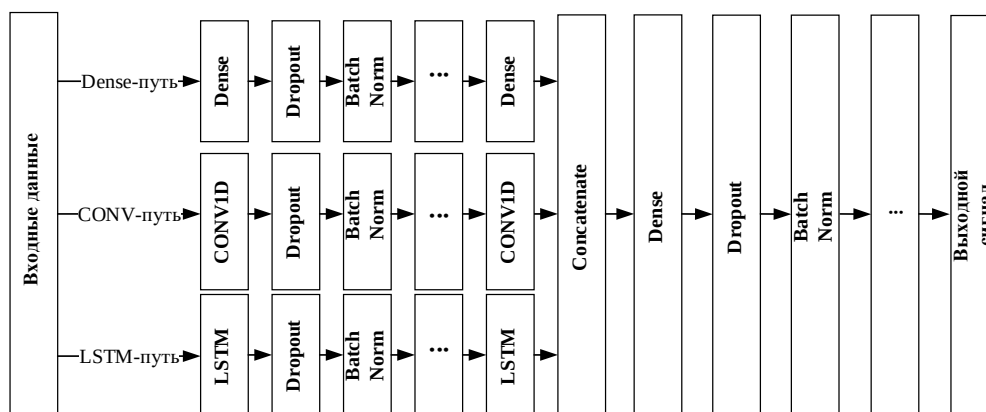


Рис. 2 – Архитектура гибридной глубокой нейронной сети

Использование данной архитектуры позволило объединить положительные качества каждой из базовых архитектур. Это обеспечило отсутствие автокорреляционного эффекта при функционировании прогнозных моделей технологических агрегатов передела при условии обеспечения достаточного уровня точности.

После интеграции всех разработанных наборов моделей технологических объектов производилась оценка качества представляемого прогноза по главному контролируемому критерию – процентному содержанию железа в концентрате. Графики работы систем на основе различных аппаратов моделирования, в сравнении с реальными значениями сигнала содержания железа в концентрате, представлены ниже на рис. 3.

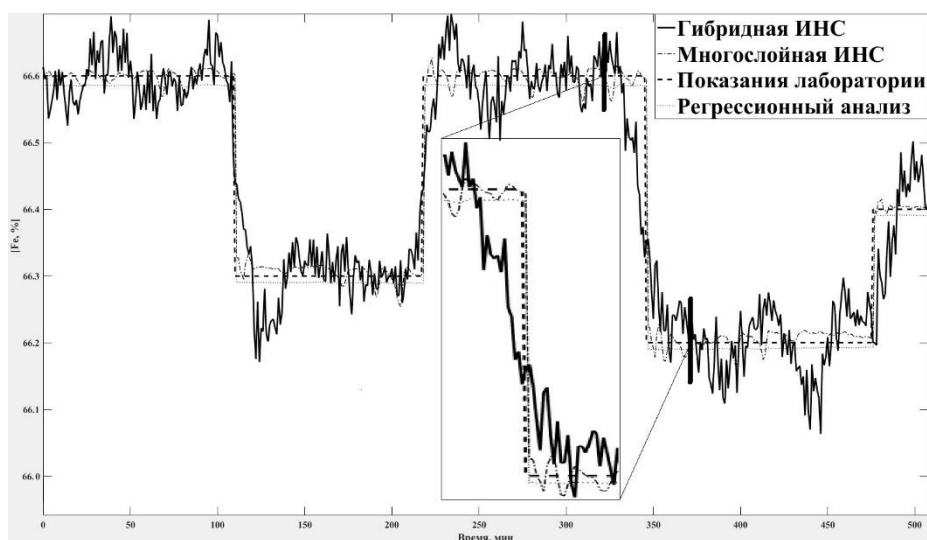


Рис. 3 – Результат работы систем на основе различного аппарата моделирования

Анализ данных графиков показывает, что модели на базе аппарата гибридных глубоких ИНС достигают качества моделирования при функционировании на тестовой выборке, обеспечивающее выполнения требований технологии.

Стоит отметить, что это достигается без появления эффекта автокорреляции выходного и исходного сигналов. Это наглядно продемонстрировано на рис.3, где видно, что система на базе глубоких гибридных ИНС заранее отрабатывает ситуацию изменения качественного показателя $[Fe, \%]$, в то время как регрессионная и классическая ИНС в большей степени опираются на предыдущие значения показателя. В итоге, это приводит к более высокому качеству функционирования системы прогнозирования в целом за счет лучшей интерпретации и анализа входных сигналов, что обеспечивает стабильность качества предоставляемого прогноза, независимо от изменения свойств процесса и агрегатов.

Одним из основных показателей работы обогатительного передела является объем обрабатываемого материала, который численно равен весу руды, подаваемой в головную мельницу технологической цепочки. При среднем значении показателя, рассчитанном в ходе экспериментов, равном порядка 579,1 тонны в час и возможном повышении значения до 590 тонн в час за счет увеличения допустимых интервалов изменения параметра, в годовом выражении, с учетом различных возможных внештатных ситуаций и ремонтов, прирост составит порядка 1,5-2% или 170 тыс. тонн переработанного продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / Андреев С.Е.; Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: «Недра», 1980. – 320 с.

2. Теория автоматического управления (дополнительные главы): учебное пособие / Под. ред. Д.А. Новикова. - М.: Ленанд, 2019. - 546 с.
3. Дозорцев В.М., Ицкович Э.Л., Кнеллер Д.В. Усовершенствованное управление технологическими процессами (АРС): 10 лет в России // Автоматизация в промышленности. – 2013. - №1. – с.12-19.
4. Poleshchenko D.A., Tsygankov Y.A., Kurgalin S. D. Subsystem to predict quality indicators of iron ore processing on basis of hybrid deep neural network models for each particular production unit // 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA) - Conference Proceeding. Lipetsk, Russia; 2021. P. 559-564. ©2021 IEEE. DOI: 10.1109/SUMMA53307.2021.9632015.
5. Ciresan D., Meier U., Gambardella L., Schmidhuber J. Deep Big Simple Neural Nets Excel on Handwritten Digit Recognition // ArXiv: 1003.0358.
6. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks // Proc. of the 25th Int. Conference NIPS. – 2012. – Vol. 1. – P. 1097–1105.
7. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long-Short Term Memory // Neural Computation. – 1997. – Vol. 9, No. 8. – P. 1735–178.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ №1 «МЕТАЛЛУРГИЯ»	4
ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА МЕТАЛЛА ПОД ПРОКАТКУ НА НЕПРЕРЫВНОМ СОРТОВОМ СТАНЕ	4
<i>Абдувахобов А.А.</i>	
ВЗАИМОСВЯЗЬ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ	11
<i>Берсенов И.С., Поколенко А.Ю., Бородин А.В.</i>	
СИНТЕЗ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ХОЛОДНОГО ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА	16
<i>Бондарь А.Ю., Корицкий Г.Г.,</i>	
ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ	22
<i>Бондарь А.Ю., Корицкий Г.Г.</i>	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕДЬСОДЕРЖАЩЕГО ПРОДУКТА НА УСТАНОВКАХ ТИПА «АУСМЕЛТ»	27
<i>Бондарь А.Ю., Пасечник С.Ю.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ С ДЕФЕКТОМ «РОМБИЧНОСТЬ» НА СЛОИСТЫХ МОДЕЛЯХ	34
<i>Жамолиддинов З.А., Абдусаматов С.Э.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗОВ У ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА В НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ	41
<i>Королькова Л.Н., Велеменчук С.Н.</i>	
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЫЛИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	46
<i>Кочергина И.Н., Кочергин Н.В.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА ЖИДКОЙ СТАЛИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ ТОНКОСЛЯБОВОЙ МНРС	53
<i>Крошкин А.М., Казин Д.Р.</i>	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗЛИВКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛЯБОВ АО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ» С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА	57
<i>Куницина Н.Г., Кармалико В.В.</i>	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВАКУУМИРОВАНИЯ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ЭСПЦ АО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ» С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛА С МИНИМАЛЬНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ВОДОРОДА	63
<i>Куницина Н.Г., Курпилянский А.Н.</i>	

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБЛИЖЁННЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ КРИСТАЛЛОВ В КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ТЕПЛОЁМКОСТИ ДЕБАЯ	69
<i>Лукьянов И.Е., Сурков В.П.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДОЖИГАНИЯ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ В ДУГОВОЙ ПЕЧИ ПРИ ЭЛЕКТРОПЛАВКЕ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕТАЛЛИЗОВАННОГО СЫРЬЯ	72
<i>Малахова О.И., Меркер Э.Э.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПЛАВКИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕТАЛЛИЗОВАННОГО СЫРЬЯ (ЖМС) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ ДОЖИГАНИЯ ГАЗОВ И СЖИГАНИЯ ТБО И МУСОРА	79
<i>Меркер Э.Э., Крахт Л.Н., Казарцев В.О.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДУГОВОЙ ПЛАВКИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕТАЛЛИЗИРОВАННОГО СЫРЬЯ (ЖМС) В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ АГРЕГАТАХ	86
<i>Меркер Э.Э., Крахт Л.Н., Казарцев В.О.</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ГОРЯЧЕБРИКЕТИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗА	92
<i>Никитченко Т.В., Тимофеева А.С., Федина В.В.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУВКИ СТАЛИ НА ХОЛОДНОЙ МОДЕЛЕ	98
<i>Новоточинов А.П.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ВЫТЯЖКОЙ И СТЕПЕНЬЮ УПЛОТНЕНИЯ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ МЕДИ В ПРОЦЕССЕ ПРОКАТКИ КАТАНКИ	103
<i>Парпиев Д.Б., Турсунбоев Б.Ф.</i>	
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОГНЕУПОРНОГО БЕТОНА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ АРМАТУРНОГО СЛОЯ ФУТЕРОВКИ СТАЛЬКОВШЕЙ	110
<i>Сазонов А.В., Кочергина И.Н.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА УПАКОВОЧНОЙ БУМАГИ НА КОРРОЗИЮ ПРЕССОВАННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОФИЛЕЙ	115
<i>Скляр В.А., Смирнов Е.Н., Парпиев Д.Б.</i>	
ПРОФИЛАКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗВЕШЬЮ	122
<i>Федина В.В., Тимофеева А.С., Никитченко Т.В.</i>	
СЕКЦИЯ №2 «ГОРНОЕ ДЕЛО»	127
НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСЕДАНИЯМИ РЕПЕРОВ ПОДЗЕМНОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ	127
<i>Усова А.А.</i>	
УСТАНОВЛЕНИЕ НА ЗЕМЕЛЬНОМ УЧАСТКЕ ГРАНИЦЫ ОПАСНОЙ ЗОНЫ ПРИ ВЗРЫВАНИИ СЕРИИ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ	132
<i>Усова А.А.</i>	

ДОБЫЧА СОЛИ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ	138
<i>Усова А.А.</i>	
ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГРАНИЦ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	142
<i>Усова А.А.</i>	
ФОРМИРОВАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЙ ЭТАП РЕКУЛЬТИВАЦИИ ГИДРООТВАЛОВ	147
<i>Усова А.А.</i>	
ПРОБЛЕМА РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ	151
<i>Амельченко В.Н.</i>	
БАЗОВЫЙ ПРИНЦИП УСТАНОВКИ БЛОКОВ ОБДЕЛКИ, ПРИ РАБОТЕ ТПМК НА БАЗЕ ГЕОХОДА В КОМПОНОВКЕ, ПРИБЛИЖЕННОЙ К МОДЕЛИ 401	156
<i>Казанцев А.А., Яровой С.Е.</i>	
КОНСТРУКЦИЯ ТОННЕЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ ВИНТОВОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ГЕОХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ	162
<i>Аксенов В.В., Казанцев А.А., Яровой С.Е., Садовец В.Ю.</i>	
УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО- РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	167
<i>Козырев П.И., Новиков П.А.</i>	
РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ФАБРИКИ ОБОГАЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	174
<i>Козырев П.И., Новиков П.А.</i>	
К ВОПРОСУ БЕЗОПАСНОЙ ОТРАБОТКИ ВЫСОКИХ УСТУПОВ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ	181
<i>Лебедев О.Ф., Бабанин Н.Г.</i>	
ЗНАЧЕНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЛУЖБЫ НА ГОРНОМ ПРЕДПРИЯТИИ	184
<i>Козлова М.С.</i>	
ИЗУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗРАБАТЫВАЕМОСТИ МЕЛА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО И ТЕПЛОВОГО ПОЛЕЙ	188
<i>Овчинников А.В.</i>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПОГРУЗОЧНО- ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГЕОХОДА	194
<i>Садовец Р.В.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАНКИ ПЗС-20 ИЗ СТАЛИ 14Г2 В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕМЕНТА ЗАМКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ АРОЧНЫХ КРЕПЕЙ	200
<i>Скляр В.А., Смирнов Е.Н.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЕМНОЙ СПОСОБНОСТИ ОВРАЖНО-БАЛОЧНОЙ СЕТИ СТАРООСКОЛЬСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО РЕГИОНА ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА	205
<i>Афанасьева Г.Е.</i>	
ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ	209
<i>Сергеев С.В., Зинченко А.В., Воробьев Е.Д.</i>	

ПРИНЦИПЫ ПОИСКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОПТИМУМОВ ДЛЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	215
<i>Афанасьева Г.Е., Балычев А.Е.</i>	
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	219
<i>Афанасьева Г.Е.</i>	
ОБЗОР НАРУЖНОЙ СВЕТОТЕХНИКИ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ ОТ 60 ДО 120 ТОНН	223
<i>Тургенев И.А.</i>	
ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СУХОГО ДООБОГЩЕНИЯ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «БАПЫ»	231
<i>Терехин Е.П., Кусенова Д.</i>	
ОБЗОР КОМПЛЕКТАЦИЙ НИЗКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ ОТ 45 ДО 60 Т	238
<i>Тургенев И.А.</i>	
БЕЗЛЮДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	246
<i>Ушаков А.Е.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ГОРНОМ ДЕЛЕ	253
<i>Чемерис А.А.</i>	
СЕКЦИЯ №3 «ГОРНОЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»	258
ОПЫТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В ПРИВОДЕ КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ	258
<i>Белов Н.В., Груздова О.А., Бородин М.Б.</i>	
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ МАЯТНИКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКОЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ	263
<i>Владимиров А.А., Макаров А.В., Шаповалов А.И., Титова А.П., Жулдыбин А.А.</i>	
ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КРАНОВЫХ КОЛЕС И ПОДКРАНОВЫХ РЕЛЬСОВ	276
<i>Еремеев И.А.</i>	
АНАЛИЗ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОСАДКИ ВЫСОКИХ ОБРАЗЦОВ	281
<i>Таупек И.М., Положенцев К.А.</i>	
ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИИ НА РАБОТУ НАСОСОВ ШАХТНОГО ВОДООТЛИВА ПРИ ПУСКЕ	286
<i>Малеев В.Б., Кудрявцев А.А.</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВЫГЛАЖИВАНИИ С НИЗКОЧАСТОТНЫМИ МАЯТНИКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ	294
<i>Кудинов Е.А., Владимиров А.А., Макаров А.В., Шаповалов А.И.</i>	

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ С НИЗКОЧАСТОТНЫМИ МАЯТНИКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ	300
<i>Кудинов Е.А., Владимиров А.А., Макаров А.В., Шаповалов А.И.</i>	
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РОЛИКОВ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК	306
<i>Макаров А.В., Владимиров А.А., Шаповалов А.И., Титова А.П., Новоточинов А.П.</i>	
РАЗРАБОТКА ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ДЛЯ ДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ АЛЮМИНИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, СТОЙКИХ К ВЫСОКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ	314
<i>Невежин С.В., Беликов С.В., Балин А.Н., Герасимов А.С., Каишфуллин А.А.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ	324
<i>Новоточинов А.П., Макаров А.В., Владимиров А.А.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ	330
<i>Шаповалов А.И., Макаров А.В., Владимиров А.А., Труфанов И.А.</i>	
ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ СЛОЯ, СТОЙКОГО К АБРАЗИВНОМУ ИЗНАШИВАНИЮ	340
<i>Шаповалов А.И., Макаров А.В., Владимиров А.А.</i>	
СЕКЦИЯ №4 «АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»	349
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ	349
<i>Глуценко А.И., Ласточкин К.А.</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КРАНА	358
<i>Елемесов Б.А., Белых Д.В.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПУСКОМ ДВИГАТЕЛЯ В ПРОГРАММЕ CODESYS 3.5	363
<i>Клименко А.А., Белых Д.В.</i>	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТА УПРАВЛЕНИЯ №7 НА ПРЕДПРИЯТИИ АО «ОСКОЛЬСКИЙ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ»	367
<i>Михайлюк Е.А., Уваров Ю.Н.</i>	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	370
<i>Мустахитдинова Ю.А.</i>	
РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЧЕЛОВЕКА	372
<i>Назарова О.И., Гуликян Э.С.</i>	

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ ТУРИСТИЧЕСКОГО АГЕНТСТВА НА БАЗЕ ARDUINO С WEB-ИНТЕРФЕЙСОМ	376
<i>Назарова О.И., Зырянова В.В.</i>	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТНОГО ПУТИ	382
<i>Назарова О.И., Новиков Д.Э.</i>	
ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЯВОЧНОЙ КАМПАНИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ ООО «РУДСТРОЙ»	388
<i>Михайлюк Е.А., Кудрявцева К.Ю.</i>	
РАЗРАБОТКА ЕДИНОГО ПОРТАЛА ПРИЛОЖЕНИЙ HYDRA НА ОСНОВЕ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЕ С СИСТЕМОЙ УЧЕТА ПРАВ ДОСТУПА	392
<i>Михайлюк Е.А., Мерцалов С.А.</i>	
КОГЕНЕРАЦИЯ КАК СРЕДСТВО ОПТИМИЗАЦИИ	397
<i>Моторина Н.П., Тетеревлёва Е.В.</i>	
О ВОЗМОЖНОСТИ СИТУАЦИОННОГО ПОДХОДА К ОПЕРАТИВНОМУ ПЛАНИРОВАНИЮ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	403
<i>Боева Л.М., Коврижных О.А.</i>	
ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	411
<i>Попова Е.М.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ	417
<i>Семенов А.В.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКЛАССОВЫХ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ	422
<i>Семенов А.В.</i>	
АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТОРГОВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ	426
<i>Семенов А.В.</i>	
К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА К РЕШЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАДАЧ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА	431
<i>Сергеев А.В.</i>	
РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ДОПУСТИМЫХ РЕЖИМОВ ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК ОБЪЕКТОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ	435
<i>Дриаев А.З., Вьючный П.А., Кайсинов А.Г., Сидоров Д.В.</i>	
ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОРАЙОНА ПРИ ПРОВАЛАХ НАПРЯЖЕНИЯ	441
<i>Дриаев А.З., Хубаев Г.Л., Сепиев Х.Б., Д.В. Сидоров</i>	
СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	446
<i>Боева Л.М., Коврижных О.А.</i>	

К ВОПРОСУ О МОДЕРНИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА	452
<i>Моторина Н.П., Тетеревлёва Е.В.</i>	
ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ НАСОСНОЙ ГРУППЫ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ	458
<i>Диденко Н. Г., Молодых А.В.</i>	
НАБЛЮДАТЕЛЬ, НЕПРЕРЫВНО ОЦЕНИВАЮЩИЙ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПО ДИСКРЕТНЫМ ДАННЫМ ЛАБОРАТОРНОГО АНАЛИЗА	463
<i>Кривоносов В.А., Козырь О.Ф., Соколов В.В.</i>	
АДАПТАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООБМЕНА ДЛЯ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ТРЕТЬЕГО РОДА В КОНЕЧНО-РАЗНОСТНЫХ МОДЕЛЯХ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ	469
<i>Жуков П.И., Глуценко А.И.</i>	
О ПЕРСПЕКТИВЕ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ НЕЙРОСЕТЕВОГО КОНТРОЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ	476
<i>Фирсов О.А., Петров В.А.</i>	
УСТРОЙСТВО ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРСЫРЬЯ В ФИЛАМЕНТ ДЛЯ ПЕЧАТИ НА FDM 3D ПРИНТЕРЕ	483
<i>Фирсов О.А.</i>	
РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ТЕПЛИЦЫ	489
<i>Хархота Н. В., Федотова И.Н.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ ПОДАЧИ СМЕСИ В КРИСТАЛЛИЗАТОР МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК	494
<i>Утямишев Д.М.</i>	
РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СОРТИРОВКИ ДЕТАЛЕЙ ПО ЦВЕТУ	501
<i>Горюнова М. В., Федотова И.Н.</i>	
РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ОТОПЛЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ	505
<i>Горюнова М.В., Федотова И.Н.</i>	
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПАЛЛЕТАЙЗЕРА В УСЛОВИЯХ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА	510
<i>Цуканов А.В., Лицин К.В.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЫТАЛКИВАТЕЛЯ КОКСОВЫТАЛКИВАТЕЛЯ	514
<i>Шахновский А.Н., Белых Д.В.</i>	

ПОСТРОЕНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯМИ КВАДРОКОПТЕРА ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ СОГЛАСОВАННЫХ С УПРАВЛЕНИЕМ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	518
<i>Блинов М.А., Глуценко А.И.</i>	
СИСТЕМА ПЧ-АДК В РЕЖИМЕ U/F-ЕСО ДЛЯ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОСТА МОСТОВОГО КРАНА	525
<i>Гамбург К.С., Мякотина М.В.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЧ-АДК С DTC В АЭП ЗАГРУЗКИ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ	531
<i>Гамбург К.С., Лазарева Т.И.</i>	
РАЗРАБОТКА АГЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ	537
<i>Основина О.Н.</i>	
ОРГАНИЗАЦИЯ ЕДИНОГО ХРАНИЛИЩА ЗНАНИЙ О НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	543
<i>Основина О.Н.</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРПОРАТИВНОЙ ПАМЯТИ ДЛЯ ПРОЦЕССА ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	549
<i>Основина О.Н., Гамбург К.С.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ АЭП ПО СИСТЕМЕ ПЧ-АДК С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО АЭП	555
<i>Гамбург К.С., Основина О.Н.</i>	
РЕАЛИЗАЦИЯ САУ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА «НАСОСНЫЕ АГРЕГАТЫ» НА БАЗЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ DANFOSS VLT MICRO DRIVE FC-051 И КОНТРОЛЛЕРА SIMATIC S7-1200	561
<i>Смирнов Д.А., Цыганков Ю.А.</i>	
СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ СТАТОРА ДЛЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ	567
<i>Гамбург К.С., Ковтун Н.И.</i>	
ВИЗИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И КОНТРОЛЬ КРУПНОСТИ ФРАКЦИИ ПОСЛЕ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ	573
<i>Гордиенко О.Е., Полещенко Д.А.</i>	
ВЫБОР СРЕДСТВА АНАЛИЗА ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА ПРИ ПЕРЕЛИВЕ МЕТАЛЛА ИЗ СТАЛЬКОВША В ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОВШ	578
<i>Коврижных Ю.А., Полещенко Д.А.</i>	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СЛУЖБЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ КЛИЕНТОВ КОМПАНИИ ПРОВАЙДЕРА ИНТЕРНЕТ-ПЛАТЕЖЕЙ	583
<i>Драняева Е.П., Ковтун Н.И.</i>	
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ С УЧЕТОМ СТАЖИРОВОК СТУДЕНТОВ	589
<i>Ковтун Н.И., Лазарева Т.И.</i>	

О НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЕ ИНДЕНТИФИКАЦИИ НОМЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ	594
<i>Остапенко А.Е., Полещенко Д.А.</i>	
ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА	599
<i>Халапян С.Ю., Антилов А.О.</i>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ СЛОМАННЫХ ЗУБЬЕВ КОВША С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	605
<i>Щербаков А.С., Полещенко Д.А.</i>	
ПРОГРАММНЫЙ ТРЕНАЖЕР ОПЕРАТОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	610
<i>Кривоносов В.А., Козырь О.Ф., Соколов В.В.</i>	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА ЗАЯВОК В СЕРВИСНОМ ЦЕНТРЕ	615
<i>Качанова Ю.А., Лазарева Т.И.</i>	
О СЕГМЕНТАЦИИ КУСКОВ РУДЫ ПОСЛЕ ВЗРЫВА В КАРЬЕРЕ НА ФОТОГРАФИИ	621
<i>Коренев А.В., Михайлов И.С., Устимов В.Ю., Полещенко Д.А.</i>	
ПЕРСПЕКТИВЫ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ КУСКОВ РУДЫ ПОСЛЕ ВЗРЫВА В КАРЬЕРЕ НА ФОТОГРАФИИ	627
<i>Коренев А.В., Михайлов И.С., Устимов В.Ю., Полещенко Д.А.</i>	
РАЗРАБОТКА КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ МУТНОСТИ СЛИВАЕМОГО ПРОДУКТА ИЗ СГУСТИТЕЛЯ №2 ЦЕХА ХВОСТОВОГО ХОЗЯЙСТВА АО «СГОК»	631
<i>Уварова Л.В.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДАВЛЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ	635
<i>Фомин А.В., Жуков П.И.</i>	
РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АСУ ТП ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА	643
<i>Цыганков Ю.А., Полещенко Д.А.</i>	