МИСИС
СТАРЫЙ ОСКОЛ

МИСИС
ГУБКИН

XXIII

ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

ТОМ I

Старый Оскол, 2026

Редакционная коллегия:

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 молодежной политике СТИ НИТУ «МИСИС», доц., к.э.н.

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

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

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

Кочергин Никита Викторович – начальник отдела науки СТИ НИТУ «МИСИС»,

Гладкая Екатерина Александровна – инженер отдела науки СТИ НИТУ «МИСИС».

Рецензенты:

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 молодежной политике СТИ НИТУ «МИСИС», доц., к.э.н.

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

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

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

Материалы Двадцать третьей Всероссийской научно–практической конференции студентов и аспирантов (Том I), 15 апреля 2026 г. / редколлегия: А.А. Кожухов, Е.В. Ильичева, А.В. Сазонов, Д.А. Полещенко, С.Н. Востокова, и д.р. – Старый Оскол, 2026. – 613 с.

Сборник материалов Двадцать третьей Всероссийской научно–практической конференции студентов и аспирантов (Том I)

Материалы публикуются в авторской редакции.

СЕКЦИЯ 1 «МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ, РЕСУРСО– И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗАГРУЗКИ И РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ БРИКЕТОВ ПО ШИРИНЕ КОНВЕЙЕРА ОХЛАЖДЕНИЯ

Арутюнян А.Д., магистрант
Арутюнян А.Б., аспирант
Щуров А.В., Шестаков М.А., студенты
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Малахова О.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Введение

В настоящее время на ЛГОКе заводом горячего брикетирования железа (ЗГБЖ) производятся брикеты размером 110 х 55 х 35 мм и массой около 500 граммов. Форма брикета в продольном и поперечном сечении – эллипс. Исходными материалами - шихтой процесса брикетирования - являются восстановленные окатыши Лебединского комбината.

Брикеты представляют собой компактные, плотные образования, имеющие более высокую термо- и электропроводности. Металлизованные брикеты характеризуются гораздо большей плотностью и меньшей удельной поверхностью, чем металлизованные окатыши, и в силу этого практически не подвержены вторичному окислению и опасности самовозгорания. Поэтому производство металлизованных брикетов не требует технических мероприятий и дополнительных затрат, связанных с предохранением их от вторичного окисления при складировании и транспортировке, и является более эффективным по сравнению с производством металлизованных окатышей в тех случаях, когда производимый продукт требует транспортировки на большие расстояния. Технологические достоинства способов получения металлизованных брикетов включают, прежде всего, низкую себестоимость производства, большую экологическую безопасность и меньшую зависимость от энергоресурсов.

Брикет обладает рядом преимуществ: сокращение времени расплавления в дуговых печах, по сравнению со временем расплавления лома, а как следствие, снижение удельного расхода электроэнергии; удобство транспортировки; возможность снижения содержания серы и фосфора в выплавляемой стали за счёт их низкого содержания в восстановленных окатышах, по сравнению с ломом. Но главным преимуществом брикетов по сравнению с восстановленными окатышами является более низкое значение открытой пористости, вследствие чего брикет не подвержен активному вторичному окислению и возгоранию на атмосферном воздухе. Именно, это обстоятельство и делает брикеты более выгодным продуктом для транспортировки.

Анализ литературных данных показал, что в проводимых в настоящее время исследованиях основной упор делается на поиск технологических параметров работы охлаждающих конвейеров, повышающих прочность брикетов. Практика производства [1-5] горячебрикетированного железа в условиях Лебединского ГОКа показала, что прочность брикетов зависит не только от режимных параметров охлаждения брикетируемого материала, но и от характеристик брикетируемого материала – химического, гранулометрического состава.

Вопросы качества брикетов являются главными в технологии их изготовления и требуют дополнительных исследований. На качество, кроме прочих факторов, влияют работа системы охлаждения и транспортирования брикетов на охлаждающем конвейере. Невозможно

обеспечить качественное охлаждение брикетов без их переувлажнения при отсутствии равномерного распределения брикетов по ширине конвейерной ленты. Необходимо разработать способ, обеспечивающий равномерное распределение брикетов по ширине охлаждающего конвейера при его транспортировке.

Система транспортировки и охлаждения брикетов

Основной функцией охлаждающего конвейера является охлаждение и транспортирование брикетов на конвейер транспортирования продукта. ГБЖ после установки брикетирования и делителя брикетной ленты через загрузочную течку поступает на конвейер охлаждения с температурой (620 -700) ºС. На выходе из течки установлен ряд цепей, предназначенных для распределения материала по ширине конвейера. Для инертизации конвейера и исключения подсоса пара в загрузочные течки подаётся уплотнительный газ.

По мере движения по конвейеру ГБЖ охлаждается до температуры менее 100 ºС за счет контакта с мелкодисперсионной распыленной водой. В процессе движения ГБЖ проходит через три зоны охлаждения. Температура ГБЖ на выходе из каждой зоны контролируется инфракрасными датчиками и поддерживается автоматически за счет изменения количества охлаждающей воды [1 - 4]. Максимальный расход воды для каждой зоны составляет 20 $м^3$/ч. При превышении максимально допустимой температуры материала на выходе из третьей зоны (более 100ºС) количество воды, подаваемой во все зоны охлаждения, устанавливается максимальным, пока температура ГБЖ не опуститься ниже допустимой.

Исследование равномерности распределения брикетов по ширине конвейера охлаждения

Невозможно добиться эффективного охлаждения сыпучих тел на конвейере без их равномерного распределения по ширине конвейера. Таким образом, именно с обеспечения равномерности распределения материала должна начинаться наша работа над проблемой.

В загрузочных устройствах под воздействием приводных устройств груз подается на ленту в лоток, который поглощает удар падающего материала и предотвращает преждевременный износ ленты. С точки зрения формы бункера и загрузочного лотка особое внимание необходимо уделять следующему.

1. Загрузка должна осуществляться в направлении движения конвейера.
2. Высота падения продукта должна быть минимальной.

При посещении ЗГБЖ нами было замечено, что брикеты на конвейере охлаждения распределены неравномерно (рис. 1). На слайде представлены кадры с разницей в 2 с, где видно, что одна часть брикетов распределяется с большим скоплением, а где-то брикеты вообще отсутствуют. Для охлаждения большого скопления брикетов установлен большой расход воды, и в них остается много влаги. Этот же расход воды подается на брикеты, которые представлены при однорядном перемещении. Эти брикеты охлаждаются до температуры ниже требуемой (менее 100 С), но влага не успевает испариться вся при этом.

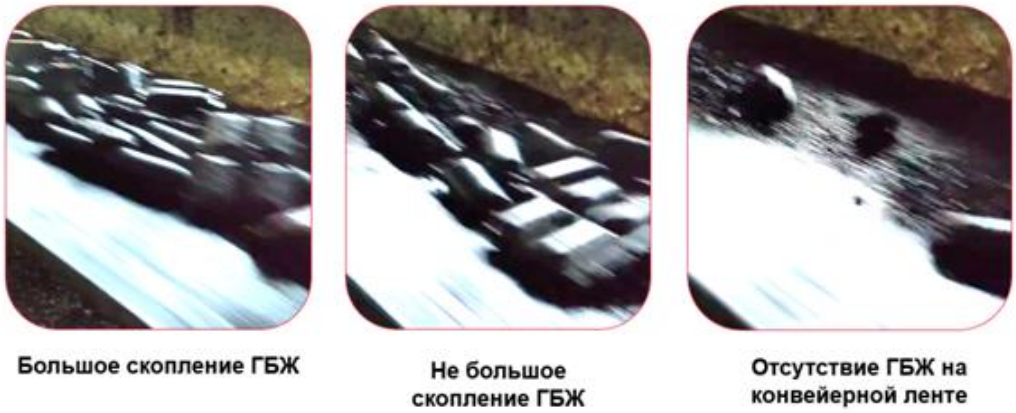


Рис. 1 – Неравномерное распределение брикетов по ширине охлаждающего конвейера на ЗГБЖ

Для экспериментального исследования распределения брикетов по ширине конвейера нами была создана установка (рис. 2), включающая конвейерную ленту с возможностью плавного регулирования скорости её движения, а также важнейший элемент установки – специально сконструированную поверхность скольжения, для создания условий падения брикетов аналогичных производственным.

Рис. 2 – Лабораторная модель конвейера для исследования равномерности распределения брикетов

Поверхность скольжения имеет гладкую металлическую поверхность, угол наклона 45 градусов к поверхности конвейерной ленты, возможность регулировать высоту падения брикетов на ленту. В дальнейшем именно на этой поверхности скольжения моделировать препятствия-распределители для брикетов.

В качестве материала, моделирующего поведение брикетов при их падении на конвейер, нами были выбран сыпучий материал с формой, подобной брикету (соотношение блины, ширины и толщины), а также выбран объёмный расход частиц и скорость движения конвейерной ленты для обеспечения подобия процесса загрузки и движения ГБЖ в реальных производственных условиях.

Первый этап исследования показал, что уменьшение накопления частиц по центру конвейерной ленты происходит при увеличении скорости движения ленты (опыты проводились для пяти различных значений скорости ленты). Рост накопления частиц вдоль центральной оси ленты (образование «горки») связан с увеличением расхода брикетов, высоты их падения на ленту конвейера и увеличения угла наклона поверхности скольжения.

Качественные результаты влияния различных факторов на распределение брикетов показаны на рисунке 3.

n	Параметр	Накопление
1	Скорость движения ленты	↘
2	Расход брикетов	↗
3	Высота падения брикетов	↗
4	Угол наклона поверхности скольжения брикетов	↗

Рис. 3 – Влияние различных параметров на накопление брикетов по ширине охлаждающего конвейера

Анализ полученных результатов показал, что наблюдается повышенное накопление брикетов по центру ленты и их неравномерное распределение по ширине конвейера, как в реальных производственных условиях. Это служит подтверждением адекватности исследования на разработанной установке и основанием продолжения серии экспериментов и совершенствования методики проведения эксперимента.

Второй этап исследования был направлен на установление влияния препятствий на поверхности скольжения на характер распределения сыпучих частиц по ширине конвейера. Выпуклость при экспериментальном исследовании выполняли из модельного (твёрдого) пластилина, меняя высоту его расположения от кромки пластины (места начала падения брикета), высоту над пластиной, крутизну поверхности, площадь поверхности выпуклости (всего проведено 30 опытов с фото- и видеофиксацией полученных результатов).

В результате установлено:

- Препятствие должно иметь высоту не менее 1–2 длин брикета.
- Место расположения препятствия от нижнего края не менее 10 длин брикета.

Для установления оптимальной площади, высоты и места расположения неровности требуются дополнительные эксперименты.

Вывод

Неоптимальная организация процесса охлаждения, сопровождающаяся скоплением брикетов в центральной части ленты и их переувлажнением на краях, обуславливает рост остаточной влажности конечного продукта.

На специализированной лабораторной модели конвейера охлаждения были выявлены ключевые параметры, определяющие равномерность распределения брикетов по ширине охлаждающего конвейера. В их число вошли: скорость перемещения конвейерной ленты, расход материала, угол наклона направляющей поверхности, высота свободного падения частиц, а также наличие препятствия на поверхности скольжения. В ходе работы проанализированы различные конструкции таких препятствий и разработано оригинальное техническое решение. Проведённые испытания подтвердили высокую эффективность внедрения предложенного устройства, которое гарантирует стабильное распределение материала по всей ширине конвейера при широком диапазоне расхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологическая инструкция по производству железорудных неофлюсованных окатышей /Губкин, 1999.
2. Тимофеева, А.С. Исследования прочности брикетов, производимых Лебединским горно-обогатительным комбинатом/ А.С. Тимофеева, Никитченко Т.В, С.Н. Рекун, Ю.В. Семина, И.А. Руднов // Черная металлургия. – 2003. - №10. – С. 7-8.
3. ОАО «Лебединский ГОК». Строительство ЦГБЖ-2. Том 2 Г-170623. ПЗ.2 Гипромез «Основное производство. Технологические решения»
4. Технологическая инструкция. Установка брикетирования. ТИ 00186803-7.5.1-14-2011. – С. 23-27
5. Технологическая инструкция. Эксплуатация системы охлаждения горячебрикетированного железа/ Губкин, 2013. – С. 4-20

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОПЛАВКИ В ГИБКИХ МОДУЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Бакланов С.Н., аспирант, **Кочергин Н.В.,** ассистент
Научный руководитель – д.т.н., профессор **Кожухов А.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Рост энергопотребления в металлургической промышленности и ужесточение экологических требований делают актуальной задачу повышения энергоэффективности сталеплавильного производства.

Гибкие модульные печи (ГМП), обеспечивающие универсальность в выборе компонентов шихты для выплавки стали, представляют перспективное направление развития. ГМП способны функционировать в двух принципиально различных режимах: в режиме дуговой электросталеплавильной печи (ДСП) с энергоподводом и в режиме «нулевой мощности», исключающем потребление электроэнергии и аналогичном работе кислородного конвертера. Определение нужного режима осуществляется исходя из производственных показателей и актуальных задач.

Конструктивные и технологические особенности ГМП обеспечивают возможность применения широкого спектра шихтовых материалов, таких как жидкий и чушковый чугун, горячебрикетированное железо, окатыши и металлический лом [1]. При этом технология допускает повышение содержания жидкого чугуна в составе шихты до 90÷95 %. ГМП отличается интеграцией современных автоматизированных систем контроля и управления, что позволяет повысить точность регулирования параметров плавки и обеспечить стабильность металлургического процесса. Более того, технология предусматривает простой, но эффективный приём по обращению физического тепла жидкого чугуна для плавления твёрдой части шихты (окатыши, ГБЖ и др.), что способствует снижению энергопотребления и сокращению объёма образующихся отходящих газов [2].

Так, опыт эксплуатации ГМП в условиях одного из металлургических предприятий показал, что при выплавке стали при использовании в качестве металлошихты 100 % жидкого чугуна наблюдается перерасход кислорода с его расчётной потребностью. Это подтверждается данными материального и теплового балансов, полученными в ходе исследований работы ГМП (рис.1, 2) [3,4].

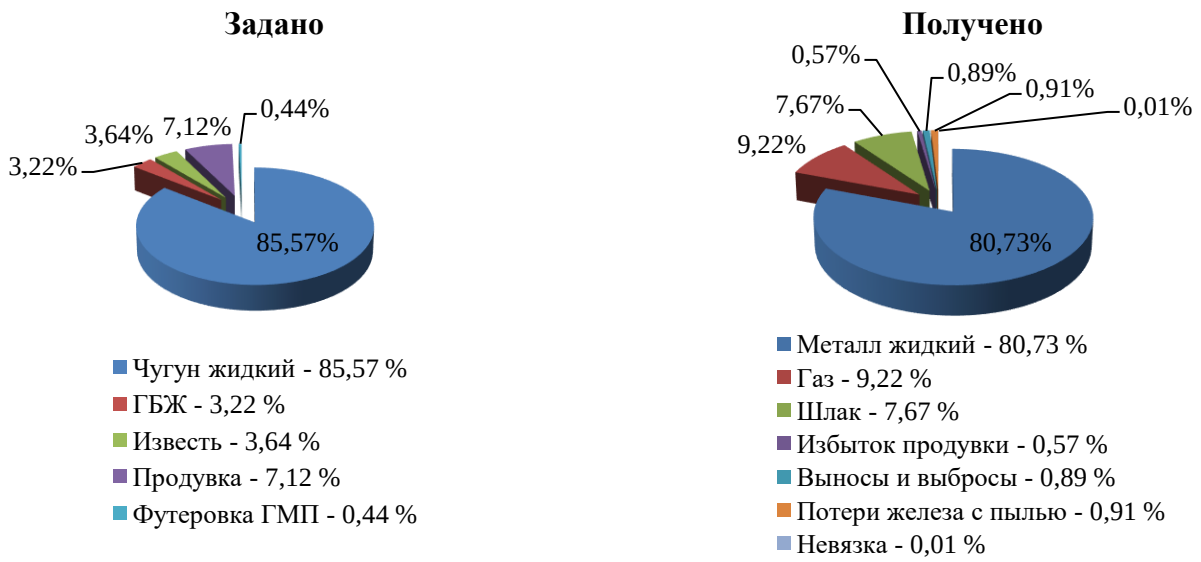


Рис. 1 – Диаграмма материального баланса плавки в ГМП

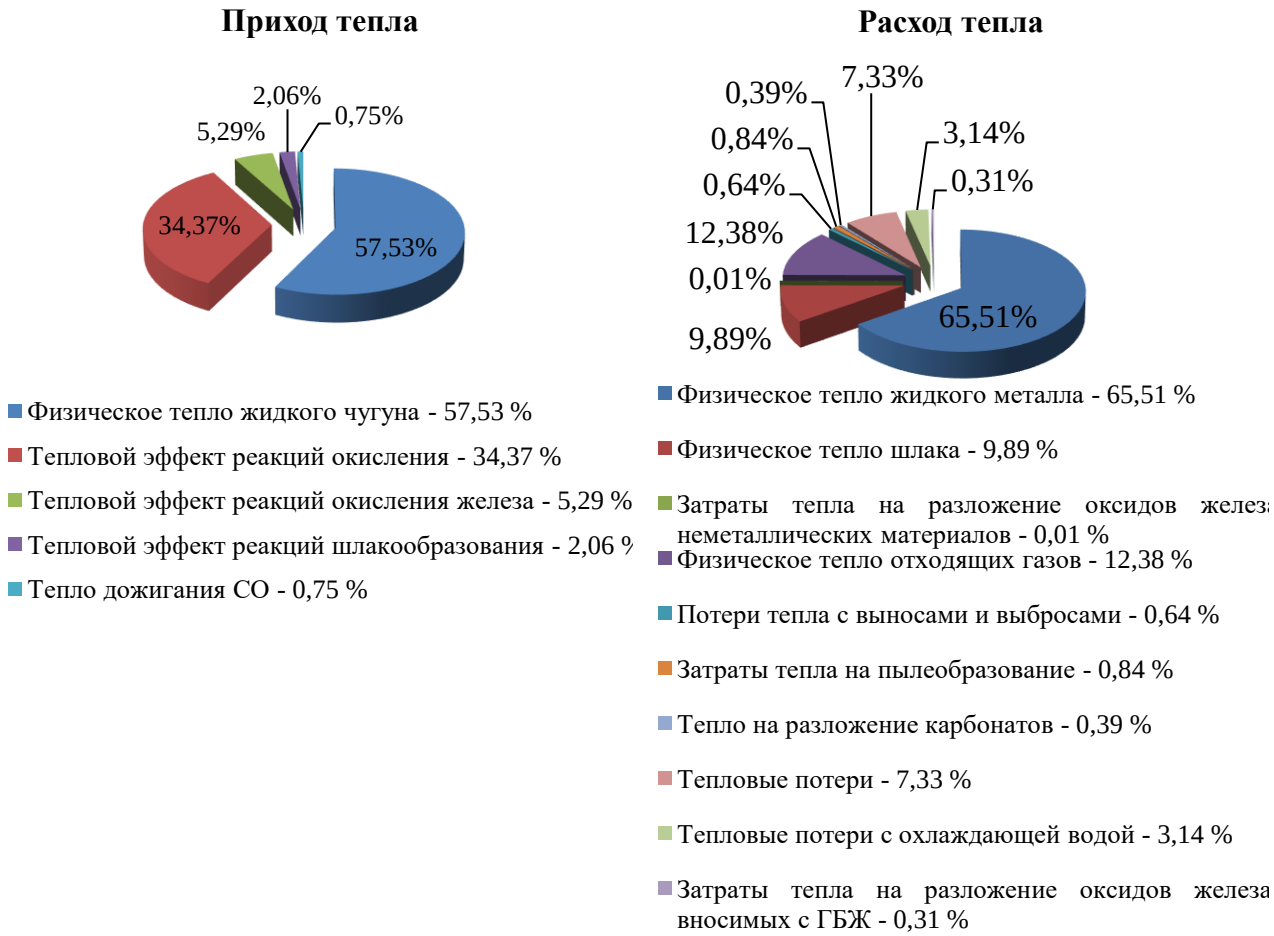


Рис. 2 – Диаграмма теплового баланса плавки в ГМП (на 100 кг металлошихты)

Всё это отрицательно сказывается на технико-экономических показателях работы ГМП. Таким образом, согласно полученным данным отмечается:

1. увеличение потерь тепла с избыточной продувкой;
2. увеличение угара железа;
3. снижение выхода годного;
4. переокисление стального полупродукта, и как следствие, перерасход раскислителей;
5. повышение загрязнённости металла неметаллическими включениями;
6. снижение стойкости футеровки и охлаждающих элементов печи.

Исходя из вышеизложенного следует, что для обеспечения энергоэффективного режима работы ГМП необходимо осуществлять синхронизацию процессов заливки жидкого чугуна, подачи кислорода на процесс со скоростью окисления углерода, кремния и марганца, содержащихся в чугуне, и скоростью нагрева ванны. Разработка математической модели, в основу которой будут положены данные процессы, позволит обеспечить оптимизацию процесса выплавки стали в ГМП при её работе в режиме кислородного конвертера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин, В. А. Технологические процессы производства стали : учебник для студентов, обучающихся по направлению «Металлургия» / В.А. Кудрин, В.А. Шишимиров. – Ростов н/Д : Феникс, 2017. – 302 с. – Текст : непосредственный.
2. Повышение эффективности использования жидкого чугуна при выплавке стали / Е.В. Женин, А.Н. Шаповалов – Текст : непосредственный // Теория и технология металлургического производства. 2022. № 4 (43). С. 27-30.
3. Особенности технологии выплавки стали в 120-тонных гибких модульных печах АО «Уральская Сталь» / И.Ф. Искаков, А.Х. Валиахметов, М.С. Кузнецов, Д.А.

Проскуровский, Д.А. Шепелев – Текст : непосредственный // Теория и технология металлургического производства. 2021. №2(37) . С. 19-23.

4. Выплавка стали в гибкой модульной печи / А.Н. Егорова – Текст : непосредственный // Наука и производство Урала. – 2020. – № 16. – С. 27-29.

РЕШЕНИЕ ВОПРОСА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ШЛАКООБРАЗОВАНИЯ В КОНВЕРТЕРЕ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ФГМБ (ФЕРРИТНО-ГЛИНОЗЕМИСТЫЙ МАТЕРИАЛ БРИКЕТИРОВАННЫЙ). ЧАСТЬ 1.

Бугаков М.Н., аспирант
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Роготовский А.Н.**
Преподаватель – научный сотрудник **Плешивцев К.Н.**
Липецкий государственный технический университет «ЛГТУ», г. Липецк

Современное конвертерное производство направлено на уменьшение времени продувки чугуна, в настоящее время оно составляет в среднем 14 – 18 минут. Такая быстротечность хода процесса неизбежно вызывает сложности в своевременном формировании высокоосновного шлака, определяющего ключевые показатели конвертерной плавки такие, как: удаление вредных примесей (сера, фосфор), неметаллических включений, выход годной стали, поддержание стойкости футеровки. Низкая скорость наведения жидкоподвижного шлака влечет следующие негативные последствия: низкая степень усвоения извести в шлаке; высокая коррозия огнеупорной футеровки вследствие продолжительного омывания ее шлаками низкой основностью; низкая рафинирующая способность, потери металла с выносами и выбросами. Конвертерное производство, где в качестве основного охладителя используют металлический лом, всегда характеризуется холодным началом продувки. В связи с этим первичный шлак представляет собой стекловидную пузырчатую массу темно-зеленого цвета с отсутствием свободной извести. Такие стекловидные и монтичеллитовые шлаки первого периода продувки плавки в силу низкого содержания RO-фазы (свободных основных окислов FeO, MnO, MgO, CaO) всегда малоактивны. Поэтому основная цель в наведении высокоосновного рафинирующего шлака состоит в том, чтобы увеличить скорость превращения монтичеллитовых шлаков в алито-ларнитовые с большим содержанием RO-фазы. Скорость шлакообразования в конвертере главным образом зависит от скорости ассимиляции извести, т.е. растворении ее в первичном кислом шлаке, который начинает появляться на первой минуте продувки при окислении кремния и марганца. Следует отметить, что продуктом взаимодействия извести и кислого первичного шлака является двухкальциевый силикат $2CaO*SiO_2$, температура плавления которого составляет порядка 2130°С. Авторы статьи [1] в своих исследованиях отмечают, что плотная корочка двухкальциевого силиката преграждает доступ свежим порциями шлака, вследствие чего вызывает затруднения образованию требуемого шлака. И только в конце продувки при повышении температуры и с взаимодействием легкоплавкими компонентами шлака, тугоплавкая корочка силиката подвергается эрозии. Следовательно, для получения высокоосновного жидкоподвижного шлака в конвертере требуется создать условия для быстрого снижения содержания SiO_2 по отношению к увеличению абсолютного содержания CaO, FeO, Fe_2O_3, MgO. На основании проведенных опытных плавок авторами [2] была приведена информация о том, что основным компонентом шлака, в условиях работы с низкомарганцовистым чугуном, пропитывающий куски извести является окислы железа. Отсюда можно сделать вывод, что оптимальное содержание FeO в шлаке благоприятно влияет на достаточно полную ассимиляцию извести, с другой же стороны окисленность шлака влияет на содержание кислорода в металле, который в свою очередь определяет качество стали и расход раскислителей, а также приводит к размыванию огнеупоров футеровки конвертера. Необходимо отметить, что средний износ футеровки за плавку достигает 0,225 мм, а удельный расход периклазоуглеродистого огнеупора в зависимости от эксплуатационных особенностей предприятия составляет 9 – 15 кг на 1 т. стали [3,4]. В работе [14] приведены данные полученные растворимости оксида магния оогнеупора в шлаковых расплавах, которые отображены на рис. 1. Методика расчета была произведена с использованием компьютерной программы расчета предела растворимости MgO в шлаках системы CaO – MgO – MnO – FeO – SiO_2 – Al_2O_3 – Fe_2O_3. Отмечается, что основное влияние на показатель растворимости оксида

$(MgO)_p$ огнеупорной футеровки оказывает основность шлака (CaO/SiO_2). Наиболее сильный износ футеровки происходит вначале продувки плавки, когда основность шлака (CaO/SiO_2). составляет = 1 ед. с максимальным показателем растворимости (MgO)р – 17,4 масс. %.

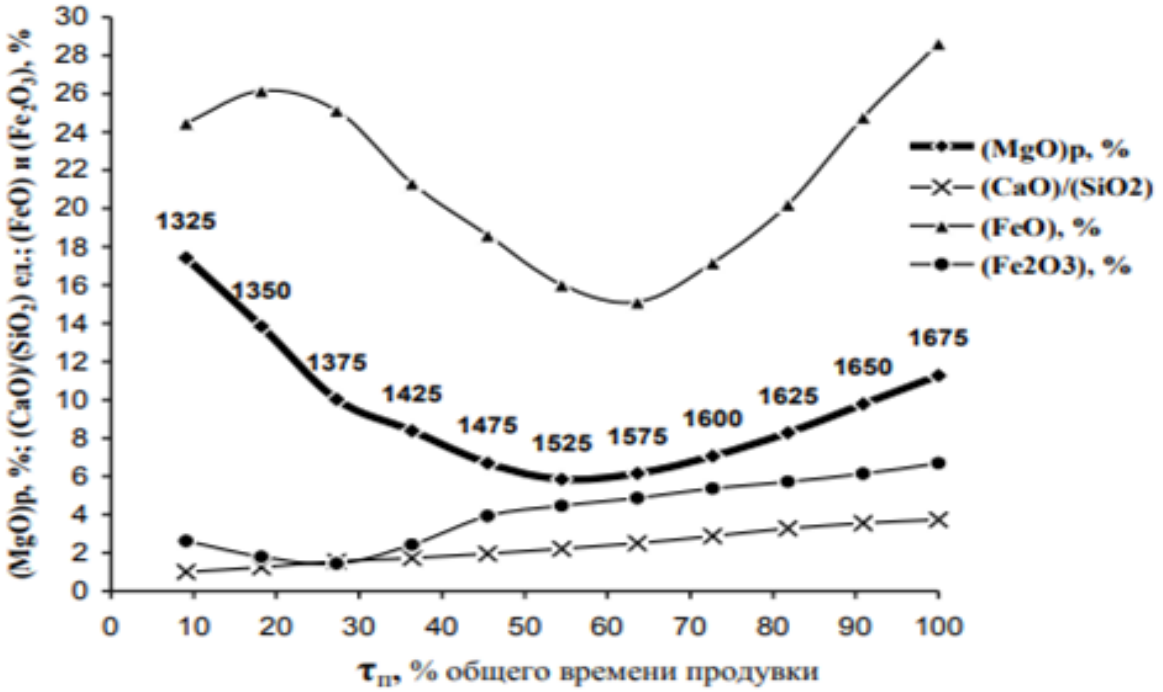


Рис. 1 – Предел растворимости огнеупора (MgO) в шлаке по ходу продувки конвертерной плавки в шлаках системы CaO-MgO-MnO-SiO2-Al2O3-Fe2O3 при продувке чугуна в конверторе

По рис.1 можно отметить, что футеровка конвертера подвержена разрушающим факторам на протяжение продувки всей плавки. Наименьший износ футеровки происходит в середине продувки плавки. Поэтому, для получения высокоосновного жидкоподвижного шлака, соответствующего параметрам технологии выплавки стали, необходимо искать оптимальный флюс интенсификатор, который за короткое время в рамках конвертерной плавки, повысит функциональные возможности шлака без ущерба для футеровки конвертера.

В недавнем времени наиболее широко применяемыми материалами, позволяющим быстро наводить шлак с требуемой основностью, являлся плавиковый шпат и боксит. Оба флюса представляют собой материалы природного происхождения (плавиковый шпат – минерал, боксит – горная порода), которые способствуют снижению вязкости шлака. Снижение интереса к представленным материалов у металлургов произошло из-за ряда отрицательных факторов, влияющих на оборудование, технологию процесса и окружающую среду:

- плавиковый шпат (в среднем содержит 93,3 % CaF_2; 4,0 % SiO_2; 0,055 % P; 0,09 % S) вызывает токсичное выделение фтора создает отрицательное воздействие на животный и растительный мир окружающей среды, проявляет коррозионную активность по отношению к элементам сталеплавильного оборудования. Обладая хорошей смачиваемостью и низкой вязкостью, шпат проникает в трещины, поры и швы футеровки конвертора тем самым ее разрушая. Способствует загрязнению стали неметаллическими включениями. Относится к дефицитным дорогостоящим материалам.

- боксит или бокситная алюминиевая руда (37–50 % Al_2O_3, 10–20 % SiO_2 и 12–25 % Fe_2O_3) является трудно транспортируемым сырьем, где материал предварительно необходимо увлажнить для меньших потерь в процессе доставки, затем перед применением высушить. Высокое содержание кремнезема более 10% влечет за собой повышенный выход шлака. Установлено, что боксит способен увеличивать содержание водорода в готовой стали и тем

самым отрицательно влиять на ее свойства. Из-за трудностей в транспортировки и добыче боксит является дефицитным и дорогостоящим материалом [13].

Кроме боксита и плавикового шпата для понижения температуры плавления шлака и увеличения скорости разрыхления корочки $2CaO*SiO_2$ могут применяться присадки других материалов и соединений, рис 2.

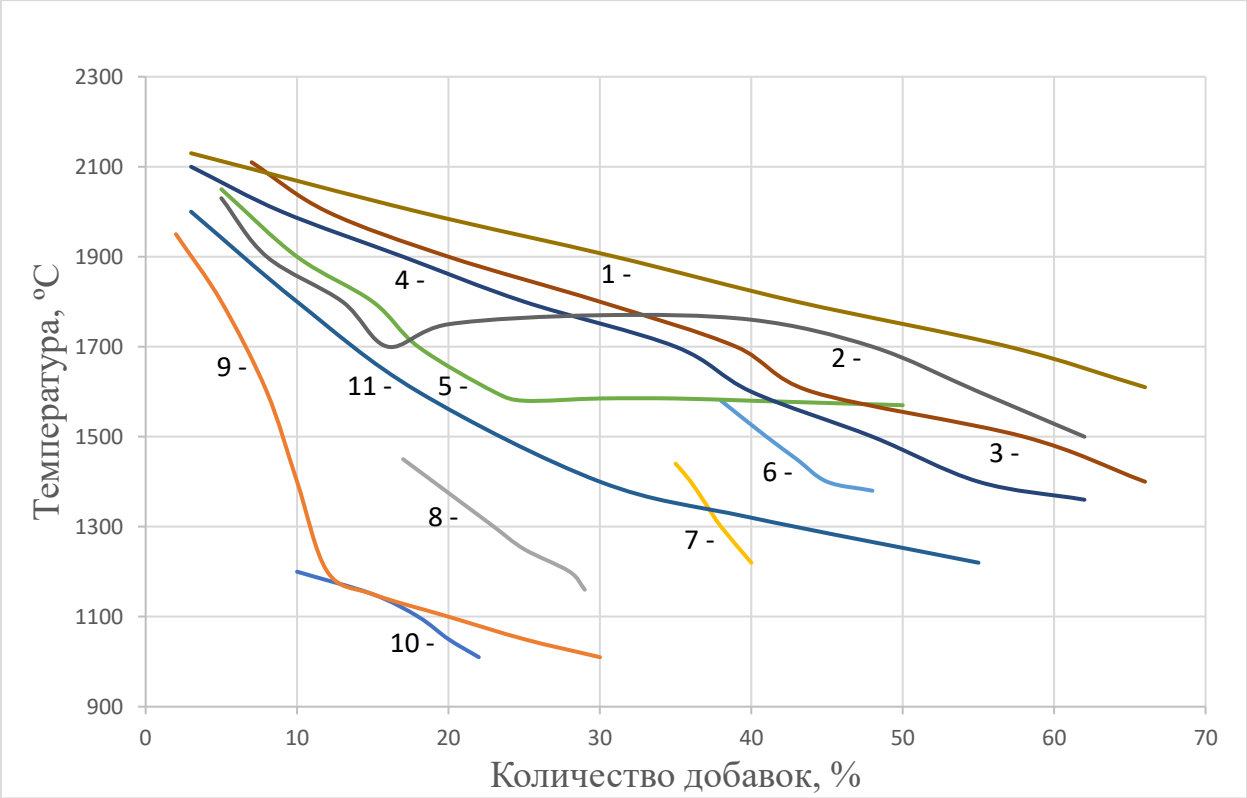


Рис. 2 – Влияние различных окислов на температуру плавления $2CaO*SiO_2$ [2]: 1 – $2CaO*Fe_2O_3$; 2 – TiO_2; 3 – Fe_mO_n; 4 – Fe_2O_3; 5 – Al_2O_3; 6 – $3CaO*B_2O_3$; 7 – $2CaO*B_2O_3$; 8 – $CaO*B_2O_3$; 9 – B_2O_3; 10 – $2LiO_2*SiO_2$; 11 – CaF_2

По мнению многих авторов в вопросе быстрого наведения шлака с требуемой основностью и заданными функциями достигается с помощью применения высокомагнезиальных флюсов. В опубликованных работах отмечается, что высокомагнезиальные флюсы наиболее эффективней шлакообразующих материалов таких как: мягкообожженный доломит, доломитизированная известь, ожелезненный доломит. Применение таких материалов во время плавки позволяет достичь высокую стойкость футеровки конвертера [5-8]. На ряду с работами авторов, где представлены положительные результаты применения магнезиальных флюсов в качестве интенсификатора шлакообразования, имеются публикации, в которых приводится информация отрицательного эффекта от применения магнезиальных флюсов [9,10]. Отмечается, что при работе с магнезиальными флюсами большая вероятность увеличение вязкости шлака, что в свою очередь приводит к снижению жидкоподвижности шлака, увеличение его температуры плавления, ухудшению рафинировочных свойств шлака, излишним потерям металла в виде выноса капель, заметаливанию оборудования. Исходя из того, что у шлака повышается вязкость с применением магнезиальных флюсов, то имеется большая вероятность образования шлаковых коржей во время продувки плавки, следовательно, появляется основание предполагать о негативном воздействии на футеровку конвертера в таких случаях, приводящее ее к истиранию. Еще одним недостатком большинства магнезиальных флюсов является наличие гидроокислов $(OH)_2$, т.е. материалы содержат высокую концентрацию водорода, в силу своих физических свойств и структурных характеристик (высокая

пористость) способны насыщаться гидрооксидом водорода из окружающей среды. Появление высокого содержания водорода во время продувки плавки не допустимо из-за взрывоопасного характера и как следствие возникновения аварийных ситуаций с длительными простоями. К тому же внесение водорода магнезиальными материалами во время продувки плавки влияет на качество выпускаемой стали ухудшая ее механические и пластичные свойства [11, 12]. Альтернативой выше указанных материалов выступает алюмоферритный флюс ФГМБ (ферритно-глиноземистый материал брикетированный), способный благоприятно влиять на физические (вязкость, проводимость, газопроницаемость) и химические (основность, окислительная способность, поглощение вредных примесей и т.д.) свойства шлака за короткое время, рис3.

Рис. 3 – Составляющие компоненты ФГМБ

ФГМБ обладает высокой разжижающей способностью для быстрого шлакообразования и рафинирования металла, обеспечивает получение требуемые свойства шлака за короткий промежуток времени. ФГМБ применяется в брикетах фракцией 10-60 мм с содержанием Al 8-12%, Al_2O_3 20-30%, $Fe_{общ}$ 20 – 30%. Расход материала на плавку составляет 5 – 10 кг на тонну стали. Флюс подается на лом в завалку или порционно по ходу продувки плавки. Шлак, модифицированный флюсом ФГМБ, обладает низкой вязкостью, позволяет более полно и быстро проходить металлургическим реакциям окисления вредных примесей за счет высокой ассимиляции извести, снижает агрессивное воздействие шлака на протяжение всего времени продувки плавки в конвертере. При работе с магнийсодержащими материалами предотвращает повышение вязкости шлака и образование коржей. Быстрое наведение жидкоподвижного шлака и поддержание его в таком состоянии на протяжение всей продувки благодаря ФГМБ позволит исключить заметаливание элементов тракта газоотводящего оборудования и кислородной фурмы.

Применение материала ФГМБ в количестве 5 – 10 кг/т в кислородных конвертерах эффективно послужит для решения следующих задач:

- наведение конвертерного шлака: содержание оксида алюминия (Al_2O_3 до 30%), алюминия (Al до 12%) и железа ($Fe_{общ}$ до 30%) способствует быстрому растворению извести в шлаке для достижения требуемой основности за короткий срок с высокими

ассимилирующими свойствами по отношению к неметаллическим включениям и вредным примесям;

- защита от потерь тепла: алюминий и его соединения могут выступать как экзотермические добавки, снижая теплопотери;
- оказывает положительное влияние на стойкость футеровки конвертера т.к. быстрое наведение высокоосновного конвертерного шлака снижает агрессивное воздействие на основную футеровку;
- повышение выхода годного за счет снижения окисленности шлака ванны металла;
- сокращение времени продувки;
- снижение заметаливания кислородных фурм и газоотводящего оборудования конвертера.

Заключение:

Промышленное освоение технологии производства дешевого комплексного шлакообразующего флюса на ферритной и алюминиевой основе из отходов металлургической промышленности откроет значительные перспективы интенсификации конвертерной плавки и послужит эффективным решением в направлении ресурсосберегающих технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baricova Dana, Pribulova Alena, Futas Peter, Buľko Branislav, Demeter Peter. (2018). Change of the Chemical and Mineralogical Composition of the Slag during Oxygen Blowing in the Oxygen Converter Process. Metals. 8. 844.
2. Шлаковый режим кислородно-конвертерной плавки / Е. В. Третьяков, В. К. Дидковский. - Москва: Металлургия, 1972. - 144 с.: ил.; 20 см.
3. Суворов С.А., Тарабанов В.Н., Козлов В.В. Потенциально опасные силы в динамике износа периклазноуглеродистого огнеупора рабочего слоя футеровки конвертера // Известия СПбГТИ(ТУ). 2015. № 30. С. 13–19.
4. Смирнов А.Н. Развитие огнеупорных материалов и изделий для выплавки, доводки и разливки стали // Электрометаллургия. 2012. №12. С.17–29
5. Манашев, И. Р. Практика применения магнезиальных флюсов в кислородно-конвертерном процессе на предприятиях России / И. Р. Манашев, А. А. Степанова // Теория и технология металлургического производства. – 2017. – № 4(23). – С. 18-22. – EDN YNXNJL.
6. Высокомагнезиальные флюсы для сталеплавильного производства / К.Н. Демидов [и др.]. – М, Завод брикетированных материалов, 2013, - 280с.
7. Применение высокомагнезиального флюса Флюмаг в сталеплавильном производстве / А. П. Возчиков, К. Н. Демидов, Т. В. Борисова [и др.] // Сталь. – 2017. – № 4. – С. 16-20.
8. Калиногорский, А. Н. Формирование конвертерных магнезиальных шлаков для повышения стойкости футеровки агрегатов / А. Н. Калиногорский, Е. В. Протопопов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : Всероссийская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 13–15 мая 2015 года / Под общей редакцией. М.В. Темлянцева. Том Часть II. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2015. – С. 115-118.
9. Применение высокомагнезиальных флюсов в конвертерном цехе ПАО "МК "Азовсталь" / Е. С. Попов, М. П. Орличенко, А. Б. Лятин [и др.] // Сталь. – 2015. – № 4. – С. 16-20.
10. Формирование гарнисажа магнезиальных шлаков на футеровке большегрузных конвертеров / А. В. Амелин, Е. В. Протопопов, А. Н. Калиногорский, С. В. Фейлер // Сталь. – 2014. – № 7. – С. 22-25.
11. Патент № 2299913 C2 Российская Федерация, МПК C21C 5/54. Сталеплавильный флюс (варианты) : № 2005110735/02 : заявл. 12.04.2005 : опубл. 27.05.2007 / К. Н. Демидов, Т. В. Борисова, Л. А. Смирнов [и др.] ; заявитель ОАО "Уральский институт металлов".

12. Hydrogen in Steels. URL: https://www.totalmateria.com/en-us/articles/hydrogen-in-steels/

13. Патент № 2345142 C2 Российская Федерация, МПК C21C 5/28. Флюс для разжижения шлака: № 2007110069/02: заявл. 19.03.2007: опубл. 27.01.2009 / В. И. Ильин. – EDN CBYICO.

14. Борисова, Т. В. Разработка ожелезненных магнезиальных флюсов и технологии их использования при кислородно-конвертерном переделе низкомарганцовистых чугунов : специальность 05.16.02 "Металлургия черных, цветных и редких металлов" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Борисова Татьяна Викторовна, 2009. – 149 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕГО БРИКЕТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ В ВАЛКОВОМ ПРЕССЕ

Гиряинова А.В., студент
Рябов Л.А., студент
Научный руководитель – к.т.н., доцент, **Скляр В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Горячебрикетированное железо – продукту будущего. Это связано с большей экологичностью его производства и возможностью транспортировки на большие расстояния [1].

Технологическая схема системы брикетирования горячего губчатого железа из кусковой руды или окатышей была разработана фирмой KOPPERN и применяется на установках внедоменного получения железа [2]. На рис. 1 схематично изображена линия горячего брикетирования металлизованных окатышей. Она состоит из следующих элементов:

- система разгрузки металлизованных окатышей;
- валкового пресса со шнековым питателем;
- делителя брикетной ленты;
- вибрационного охладителя брикетов [3].

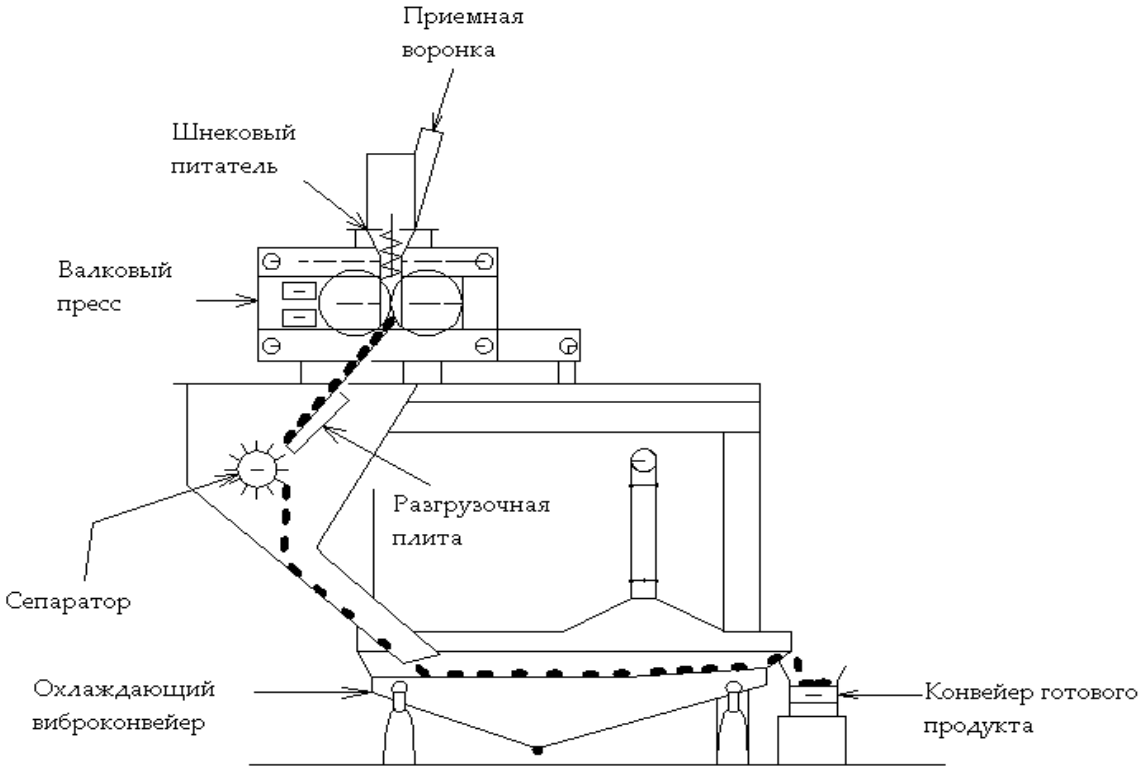


Рис. 1 – Схема установки брикетирования

С помощью шнекового питателя регулируется подача необходимого количества горячего металлизованного продукта на участок прессования. Этот питатель был специально разработан для работы с кусковой рудой или окатышами и предназначен для предварительного уплотнения материала.

Брикет-пресс оснащен комплектом из двух валков: плавающего и неподвижного. Привод валков брикет-пресса осуществляется с помощью электродвигателя с регулируемой скоростью. Двигатель соединяется с редуктором, который соединен с валками брикет-пресса.

Прессующими элементами валков являются сегменты, укрепленные на корпусе валков прижимными кольцами с водяным охлаждением, рис. 2.

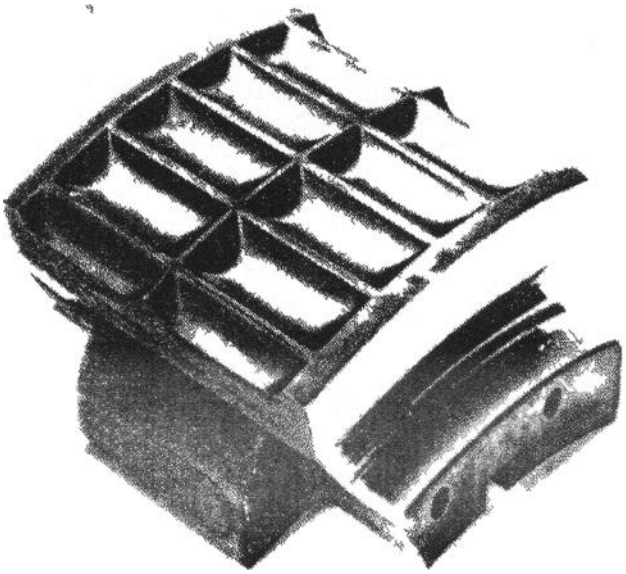


Рис. 2 – Сегмент пресса горячего брикетирования

Брикеты, выходящие из просвета валка, обычно выглядят как прочная лента, которая должна быть разделена на отдельные брикеты. Брикетная лента выходит из валков по диагонали через разгрузочный желоб валков, направляющий брикетную ленту на разделитель ленты или разделитель брикетов, на котором брикетная лента делиться на отдельные брикеты. Применяются сепараторы перекрестного биения, которые, ударяя ленту по острой кромке, разбивают её. Молотки дробилки, расположенные на роторе, разбивают полоску сначала по горизонтали, а затем по вертикали. После разделения брикеты через соединительный канал поступают на вибрационный холодильник брикетов, работающий по принципу резкого водного охлаждения. Горячий материал падает в воду, которая подается потоком в противоположном направлении транспортировки материала через холодильник. Для охлаждения 50 т/час продукта от 700 до 80 °С требуется приблизительно расход 250 $м^3$/час воды. Варьируя количество поступающей воды и выдержку брикетов во времени, можно регулировать их температуру разгрузки. Рекомендуется температура 80 °С, потому что остаточное тепло препятствует проникновению воды в поры и высыханию поверхности брикетов [4].

Прессование как процесс представляет собой формирование компактного изделия из дисперсных гранул различного размера путём приложения давления к дисперсному материалу, находящемуся в закрытой форме или оболочке [5].

Для физического моделирования влияния формы сегментов на степень уплотнения окатышей при производстве ГБЖ использовалась экспериментальная установка [6]. В качестве материала, который моделировал окатыши, использовались пенопластовые шарики.

Рассмотрим распределение деформации при опыте с двумя сегментами симметричной формы (базовая технология). Фотография закрытых сегментов с пенопластовыми шариками приведена на рис. 3.

Анализ деформации производился путем измерения осей шариков по осям X и У с использованием программы Компас. Также измерялась ось окружности на шарике, полученной в результате сплющивания шарика об оргстекло, в этом случае путем пересчёта получали деформацию по оси Z.

Истинные деформации определяли по формуле:

$$e_1 = ln\left(\frac{a_i}{d_0}\right) \quad (1)$$

где a_i – размер соответствующей оси шарика после деформации;
d_i – диаметр шарика до деформации (10 мм).
Далее определяли интенсивность линейных деформаций по формуле:

$$\Gamma = \frac{2}{\sqrt{6}}\sqrt{(e_1 - e_2)^2 + (e_2 - e_3)^2 + (e_3 - e_1)^2} \quad (2)$$

Рис. 3 – Вид сегментов в экспериментальной установке с моделирующим материалом (два сегмента симметричной формы)

Интенсивность деформации приведена на рис. 4. Чем больше величина интенсивности деформации – тем больше формоизменение самих металлизованных окатышей и тем плотнее будет их упаковка в брикете. Как видим наибольшая величина интенсивности деформации наблюдается ближе к нижней части брикета, а наименьшая ближе к верхней части, что соответствует выводам, полученным в более ранних исследованиях и практическим данным.

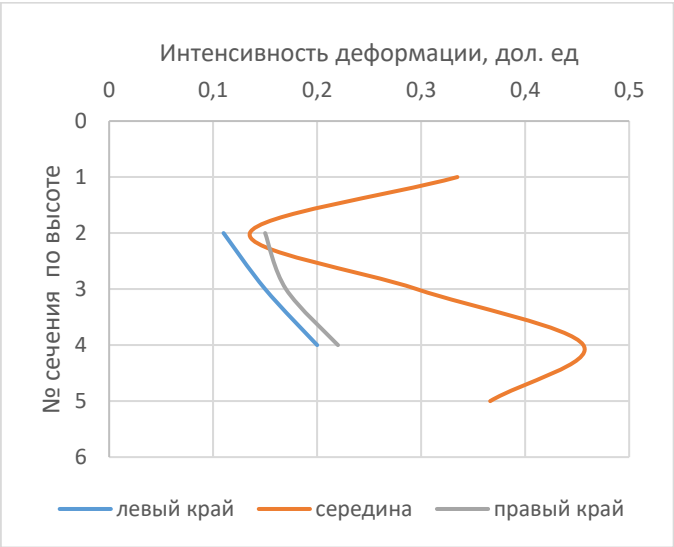


Рис. 4 – Интенсивность деформации (два сегмента симметричной формы)

Рассмотрим распределение деформации при опыте с двумя несимметричными сегментами, установленными на экспериментальной установке в асимметричном расположении. В данном эксперименте сегменты ориентированы таким образом, что их сужения не выровнены симметрично относительно друг друга, создавая асимметричное воздействие на материал брикета (рис. 5).

Рис. 5 – Вид сегментов в экспериментальной установке с моделирующим материалом (ассиметричная ячейка)

Наибольшая интенсивность деформации (рис. 6) наблюдается в зонах, где асимметричное расположение сегментов создает повышенное давление, особенно вблизи сужений одного из сегментов. В центральной части брикета интенсивность деформации больше чем по краям, а в областях с меньшим влиянием асимметрии она снижается, приближаясь к значениям базового варианта.

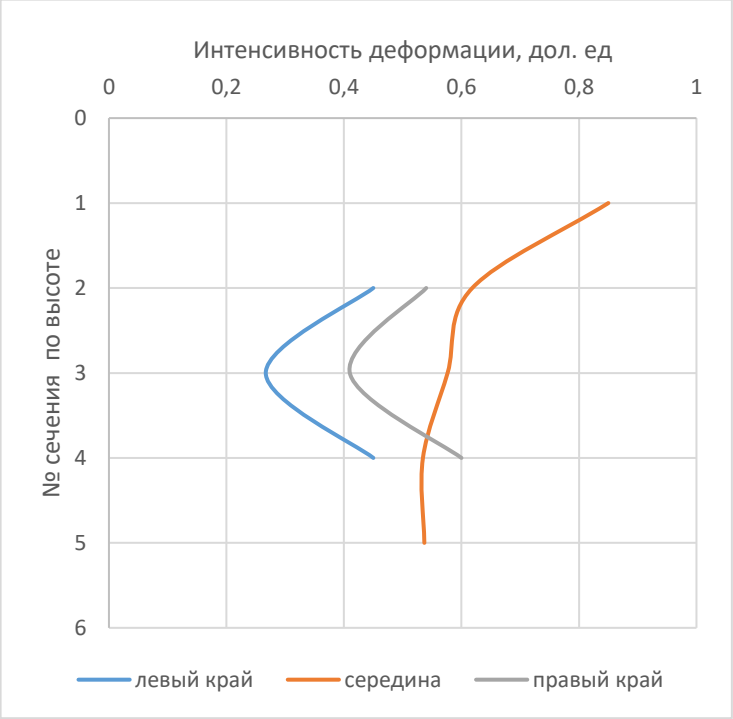


Рис. 6 – Интенсивность деформации (ассиметричная ячейка)

Суммарное повышение интенсивности деформации по сравнению с базовым вариантом составило 17,6 %.

Таким образом наибольшего увеличения интенсивности деформации позволяет добиться асимметричная форма ячейки брикет пресса [7].

Заключение

В результате анализа мероприятий по повышению прочности брикетов (и снижения количества мелочи) принято решение о исследовании процесса брикетирования с изменением формы сегмента. Предложена несимметричная форма сегмента брикет-пресса, которая предположительно позволит повысить захватывающую способность ячеек и перераспределить деформацию по сечению брикета с повышением плотности упаковки. Проведенные исследования показали, что изменение формы брикета в сторону несимметричной повышает интенсивность деформации. При этом повышение составило 17,6 % при опыте с несимметричными сегментами, расположенными асимметрично. Таким образом наибольшего увеличения интенсивности деформации позволяет добиться асимметричная форма ячейки брикет пресса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевина, О. В. Производство горячебрикетированного железа в обеспечении технологической и экономической устойчивости российской металлургической промышленности / О. В. Кожевина, А. А. Абрамов // Друкеровский вестник. – 2025. – № 6(68). – С. 285-293. – DOI 10.17213/2312-6469-2025-6-285-293.

2. Тимофеева, А. С. Получение металлизованного сырья в процессе HYL-III / А. С. Тимофеева, Т. В. Никитченко // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2012. – № 2(1346). – С. 41-46.

3. Елисеев, Д. Н. Горячебрикетированное железо / Д. Н. Елисеев, Т. Х. у. Наринбаев, Е. А. Гладкая // Инновационное развитие современной науки: теория и практика : сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции, Анапа, 11 июля 2022 года. – Анапа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский центр экономических и социальных процессов» в Южном Федеральном округе, 2022. – С. 20-25.

4. Закономерности сушки горячебрикетированного железа / И. С. Вохмякова, И. С. Берсенев, О. Г. Сивков, А. А. Степанова // Черные металлы. – 2023. – № 4. – С. 4-7. – DOI 10.17580/chm.2023.04.01.

5. Скляр, В. А. Изучение закономерностей формирования брикета железа прямого восстановления в валковом прессе / В. А. Скляр, Е. А. Черменев, А. В. Карамин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2025. – № 10. – С. 39-45.

6. Исследование условий захвата при производстве ГБЖ на валковом прессе / В. А. Скляр, Е. А. Черменев, А. В. Карамин, А. В. Гиряинова // Оригинальные исследования. – 2025. – Т. 15, № 8. – С. 212-219.

7. Гиряинова, А. В. Опыт участия студенческих коллективов в исследовательских проектах в рамках образовательно-промышленных групп с Лебединским горно-обогатительным комбинатом / А. В. Гиряинова, Е. Ю. Елисеева // Ratio et Natura. – 2025. – № 4(16).

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА В ТРУБЧАТОМ РЕКУПЕРАТОРЕ УСТАНОВКИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ MIDREX

Голобурдин А.И., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Никитченко Т.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Производство металлизованного сырья в настоящее время расширяется, о чем свидетельствует строительство новых установок металлизации на российских металлургических комбинатах [1]. Несмотря на большое разнообразие процессов прямого восстановления железа в мире основными при получении губчатого железа стали процессы Midrex и HYL, использующие в качестве сырья окатыши и/или кусковую руду. При этом процесс Midrex сохраняет лидирующее положение.

Одной из отличительных особенностей процесса Midrex от процесса HYL является применение комбинации паровой и углекислотной конверсии природного газа, тогда как в процессе HYL применяется только паровая конверсия.

Конверсия природного газа в процессе Midrex производится в реформере. Непосредственно процесс конверсии природного газа осуществляется в реакционных трубах, заполненных катализатором. Нагрев межтрубного пространства происходит за счёт сжигания смеси колошникового газа, получаемого в процессе металлизации, и природного газа в горелках, расположенных в днище реформера.

Предварительно нагретый питающий газ, представляющий собой смесь очищенного от пыли и сжатого колошникового газа с природным газом, подается в нижнюю часть реакционной трубы и восходящим потоком протекает через стационарный слой катализатора. Природный газ подвергается стехиометрической конверсии оксидом углерода и водяным паром, содержащимися в колошниковом газе, в результате чего получается горячий реформированный газ с высокой концентрацией монооксида углерода (CO) и водорода (H_2).

Реформинг в процессе Midrex определяется как стехиометрический реформинг. Работа при условиях настолько близким к стехиометрическим требует постоянно правильной и точной работы реформера. Неправильная работа может привести при реакциях с выпадением углерода к загрязнению катализатора, разложению катализатора или повреждению высокотемпературных легированных труб реформера.

Чтобы избежать опасных для катализатора реакций, связанных с выпадением свободного углерода, в нижней части реакционных труб размещен инертный катализатор, который обеспечивает подъем температуры питающего газа до уровня выше 820 ºС перед его поступлением на активный катализатор. Кроме того, питающий газ подогревается в рекуператоре до температуры не ниже 600 ºС. Тем не менее для осуществления полной конверсии метана в верхней части реформера требуется поддерживать температуру на уровне 1100 ºС, т.е. конверсия природного газа осуществляется при очень высоких температурах, что обуславливает выход дымовых газов из реформера с температурой выше 1200 ºС.

Утилизация энергии столь высокотемпературного теплоносителя осуществляется в рекуператоре. Система рекуперации в процессе Midrex имеет очень важное значение, так как обеспечивает не только утилизацию тепла и снижение температуры отходящих газов, но и подготавливает различные газовые смеси к последующим технологическим процессам. Подогреваемыми технологическими потоками являются основной воздух для горения, питающий газ, технологический газ, природный газ и колошниковый топливный газ.

Система рекуперации состоит из двух параллельных друг другу блоков дымового газа, по 50% всего пропускаемого объема газа на каждый. В каждом блоке газ по очереди проходит через следующие узлы: подогреватель горячего воздуха горения, подогреватель горячего питающего газа, подогреватель холодного технологического газа, подогреватель топливного

колошникового газа, подогреватель природного газа и подогреватель холодного воздуха горения, рисунок 1.

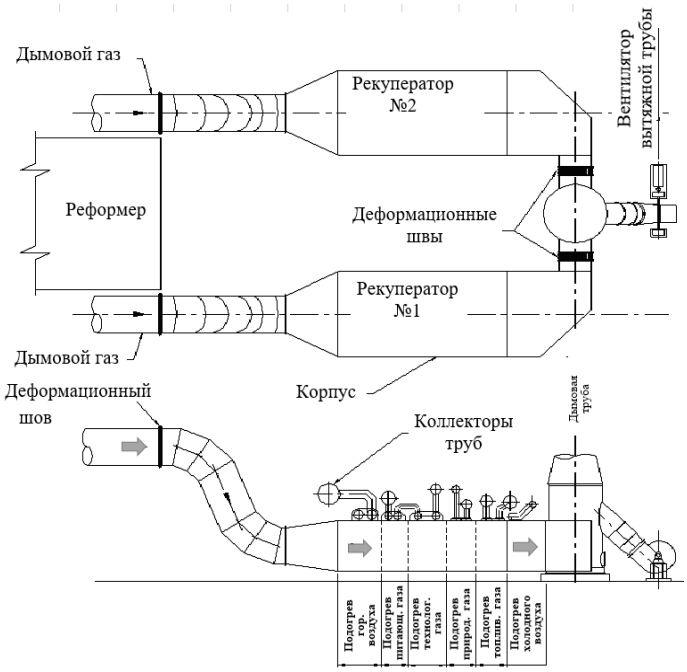


Рис. 1 – Система рекуперации тепла на установке Midrex

Каждый из этих блоков рекуператора отводит дымовой газ к вытяжной трубе.

Подогреватели расположены так, чтобы максимально сэкономить энергию. Температура предварительного подогрева каждого технологического потока максимальна для заданного местоположения в серии пучков труб.

Эффективность работы рекуператоров в производстве горячебрикетированного железа по технологии Midrex является ключевым аспектами, влияющим на общую производительность и экономическую эффективность процесса.

В контексте использования дымовых газов реформера, которые имеют высокую температуру, важно обеспечить максимальную передачу тепла от дымовых газов к вторичным теплоносителям. Увеличение потока передаваемой теплоты возможно тремя путями:

- за счет увеличения интенсивности теплопередачи;
- путем развития поверхности теплообмена;
- путем повышения температурного напора между внешним греющим потоком и внутренними подогреваемыми [2].

Интенсивность передачи тепла от горячего теплоносителя к холодному характеризуется коэффициентом теплопередачи:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{внеш}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{внут}}}$$

где δ – толщина разделяющей стенки, м;

λ – теплопроводность материала стенки, Вт/(м·К);

$\alpha_{внеш}$ – внешний коэффициент теплоотдачи от горячего потока к стенке, Вт/(м^2·К);

$\alpha_{внут}$ – внутренний коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемому потоку, Вт/(м^2·К);

Внешний коэффициент теплоотдачи определяется параметрами потока дымовых газов, образующихся в реформере, поэтому коэффициент внешней теплоотдачи следует принять неизменным. Наиболее эффективным способом увеличения передачи тепла будет интенсификация внутреннего теплообмена, т.е. внутри труб подогревателя.

Одним из направлений повышения внутреннего коэффициента теплоотдачи является применение внутренних вставок, выполняющих функцию промежуточного (вторичного) излучателя [3, 4].

Внутренние вставки представляют дополнительные поверхности теплообмена с потоком нагреваемого газа и выступают как адиабатные приемники излучения. Интенсификация внутреннего теплообмена благодаря размещению вставок в теплообменных трубах позволяет повысить температуру нагреваемого потока и понизить среднюю температуру теплообменных поверхности труб за счет трансформации теплового потока, отдаваемого внутренними поверхностями труб, из чисто конвективного в лучисто-конвективный. Однако при этом растет аэродинамическое сопротивление теплообменника. Результаты моделирования процессов теплообмена с различными внутренними вставками показали наиболее эффективную вставку в виде звезды-8, которая позволила добиться уровня значений коэффициента теплоотдачи 120 – 150 Вт/(м^2·К), рисунок 2 [4].

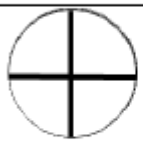
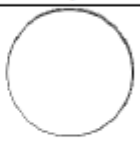
Наименование характеристики	Вид вставки		
	Звезда-8	Крест	Без вставки
Номер вставки	1	2	3
Вид трубного нагревательного элемента			
Внутренний диаметр трубы, м	0,1	0,1	0,076
Размеры вставки, м	Ширина пластин – 0,1	Ширина пластин – 0,1	—

Рис. 2 – Параметры трубных нагревательных элементов

С помощью подбора профиля интенсифицирующей поверхности может быть уменьшено число пластин на стержневой вставке, и можно ожидать уменьшения негативного роста гидравлического сопротивления [5], однако данный вопрос требует дополнительной проработки с точки зрения изменения гидравлического сопротивления трубного элемента.

Эффективным способом повышения интенсивности теплоотдачи является оребрение внутренней поверхности теплообменника. Наиболее встречаемые типы оребрения поверхностей теплообмена представлены на рисунке 3.

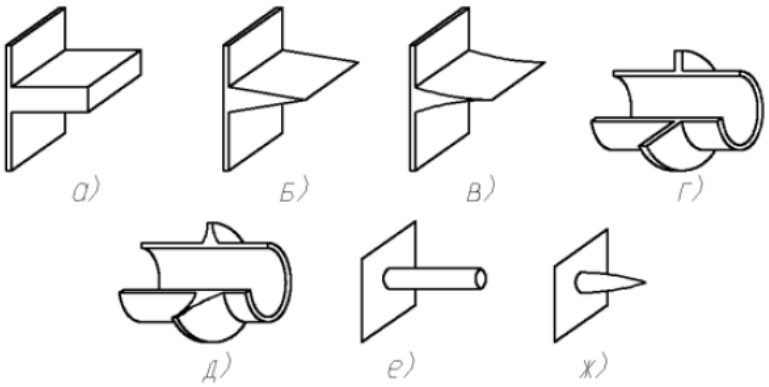


Рис. 3 – Типы оребрения: а) ребро, прямоугольное сечения; б) ребро треугольного сечения; в) ребро параболического сечения; г) труба с радиальным ребром прямоугольного сечения; д) труба с радиальным ребром параболического сечения; е) шип, цилиндрического сечения; ж) шип, параболического сечения [6]

Для увеличения эффективности ребра в работе [6] предлагается применение различного вида турбулизаторов, смонтированных на самом ребре, что дает дополнительное оребрение теплообменной стенки рекуператора.

Такой подход позволяет увеличить турбулентность нагреваемого теплоносителя, расположенного в зоне действия турбулизатора, что создает вихревой эффект, вызывающий интенсификацию теплопередачи стенки теплообменника.

Из экспериментальных исследований установлено, что наибольший добавочный эффект вносят цилиндрические турбулизаторы, смонтированные на прямоугольных ребрах в виде схем различных конфигураций (шахматные, коридорные). При этом при использовании шахматной схемы размещения турбулизаторов было получено равномерное распределение теплового потока, в следствии отсутствии зон застоя и перегрева стенок, в сравнении с коридорной схемой компоновки турбулизаторов и схемой без использования турбулизаторов.

Второй путь повышения энергоэффективности трубчатого рекуператора – это увеличение поверхности теплообмена. Применительно к рекуператору на установке металлизации данный путь может быть реализован за счет уменьшения внутреннего диаметра труб подогревателя с одновременным увеличением числа труб. По сути это потребует полной модернизации трубчатого подогревателя, включая систему подвода и отвода теплоносителя.

Интенсификация теплообмена в рекуператоре путем повышения температурного напора между внешним греющим потоком и внутренними подогреваемыми для рекуператора на установке металлизации неприемлем, так как параметры греющего потока определяются работой реформера.

Заключение.

Таким образом, наиболее реализуемые пути интенсификации теплообмена в рекуператорах установки Midrex – это применение внутренних турбулизаторов потока и использование внутренних вставок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обзор рынка прямовосстановленного железа (ПВЖ/ГБЖ-DRI/HBI) в мире и России. 4-е издание. Москва. Декабрь 2025. 132с.
2. Сорока Б.С. Современное состояние и анализ эффективности утилизации теплоты в топливных печах с использованием высокотемпературных рекуператоров. Часть 2 / Б.С. Сорока, В.А. Згурский, Н.В. Воробьев // Энергетика. 2013. №3. С. 47 – 57.
3. Сорока Б.С. Интенсификация высокотемпературного теплообмена путем установки вторичных излучателей в трубах / Б.С. Сорока, П. Шандор, К.Е. Пьяных, А.В. Педоренко // Промышленная теплотехника. 2003. №4. С. 349 – 352
4. Гильметдинова Ю.Р. К вопросу о высокотемпературном нагреве воздуха / Ю.Р. Гильметдинова, К.А. Ляпустина, В.А. Микула, Н.А. Вальцев // ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия. https://elar.urfu.ru/handle/10995/34871 2015. С. 21 – 25.
5. Исаев С.А., Лысенко Д.А. Численный анализ турбулентного теплообмена в прямоугольном канале с круговой цилиндрической траншеей в рамках полуэмпирических моделей и модели крупных вихрей // Тр. 4-й Российской национальной конф. по теплообмену. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. Т.1. С. 127–130.
6. Бурцев Алексей Петрович Комплексная утилизация теплоты сбросных газов и вентиляционных выбросов в многослойном пластинчатом рекуператоре. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 2.1.3 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение». Курск. 2023. 202 с.

ВЫБОР СУШИЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ СУШКИ МЕТАЛЛИЗОВАННОЙ МЕЛОЧИ

Горбань А.А., студент
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Никитченко Т.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Горячебрикетированное железо (ГБЖ) является востребованным продуктом на рынке железорудного сырья. Брикеты ГБЖ представляют собой практически чистое металлическое железо без примесей цветных металлов, поэтому они высоко ценятся металлургами при производстве высококачественных сталей. Горячебрикетированное железо получает методами прямого твердофазного восстановления при температурах ниже 1000 ºС, поэтому оно характеризуется склонностью к вторичному окислению. Более активное окисление металлического железа происходит при разрушении брикетов в следствие образования дополнительной площади контакта частиц железа с кислородов воздуха. Повышение прочностных свойств брикетов ГБЖ и увеличение их плотности является актуальной задачей для производителей брикетов.

В работе [1] показана возможность повышения прочностных свойств брикетов за счет возврата металлизованной мелочи на брикетирование. Однако металлизованная мелочь характеризуется высокой влажностью, так как для охлаждения брикетов используется вода. По производственным данным массовая доля влаги в металлизованной мелочи составляет от 8 до 10 %. Поэтому, чтобы вернуть металлизованную мелочь в процесс брикетирования её необходимо высушить до нулевой влажности.

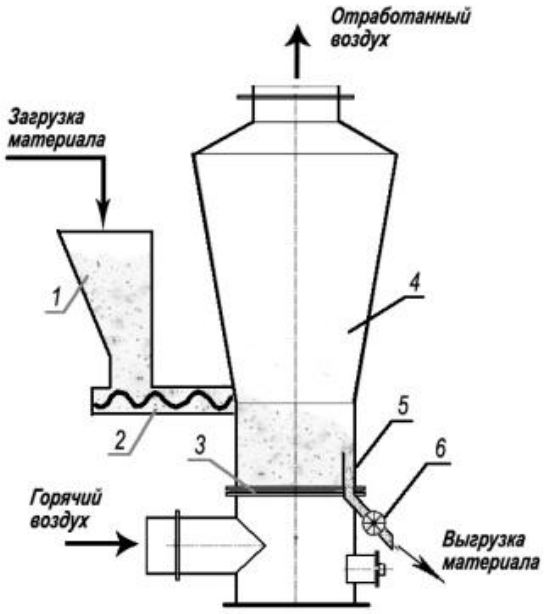
Анализ литературных источников показал высокое многообразие сушильных агрегатов, применяемых для сушки мелкодисперсных материалов [2 – 5]. Выбор варианта сушки определяется свойствами материала, подвергаемого сушке: его гранулометрическим составом, физико-химическими свойствами, способностью выдерживать определенный уровень температуры. Наибольшее распространение получили конвективный сушки. Достоинством конвективных сушилок является простота конструкции, доступность сушильного агента. К недостатку следует отнести большое количество запыленных газов, которые требуют очистки на циклонах, фильтрах или в абсорберах [2].

Среди конвективных сушилок, наиболее прогрессивными в последнее время считаются сушилки, работающие по принципу взвешенного слоя [6]. Основным преимуществом сушилок кипящего слоя (КС) является их высокая производительность за счет интенсификации процесса теплообмена между частицей и газовым теплоносителем, что позволяет для высушивания одного и того же количества продукта затрачивать во много раз меньше времени. Сушилки КС отличаются небольшими удельными энергозатратами, занимают небольшую производственную площадь.

По конструктивным особенностям сушилки с кипящим слоем бывают односекционные и многосекционные. Односекционные сушильные агрегаты получили широкое распространение за счет простоты конструкции и эксплуатации. Для обеспечения равномерной сушки в односекционных сушилках осуществляется направленное движение слоя высушиваемого материала за счет того, что газораспределительная решетка устанавливается под углом 1 – 4º. Данные сушилки характеризуются большими скоростями движения материала в слое. Для выравнивания времени пребывания частиц в камере устанавливают поперечные перегородки. Такие сушилки работают с перекрестным потоком материала и теплоносителя. Их рекомендуется применять при удалении влаги из трудно высыхающих, пористых материалов, для которых необходима высокая равномерность сушки.

Широкое применение нашли односекционные сушильные аппараты с расширяющимся кверху сечением сушильной камеры, в частности, конические. Скорость газа внизу такой

камеры должна быть выше скорости осаждения самых больших частиц, а вверху скорость должна быть ниже скорости осаждения самых маленьких, рисунок 1.

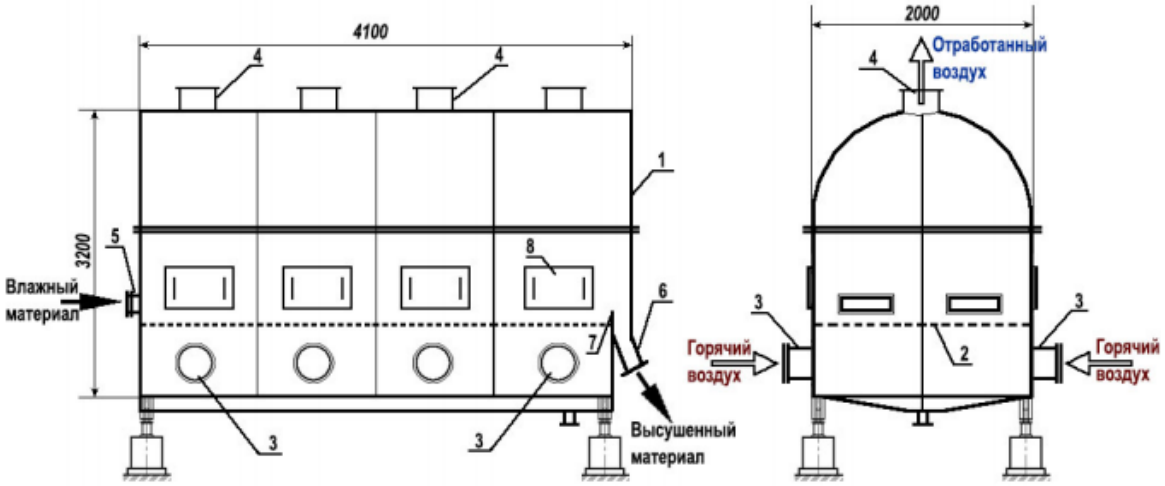


1 - бункер, 2 - питатель, 3 – газораспределительная решетка, 4- камера сушилки, 5 - штуцер для выгрузки высушенного материала, 6 – шлюзовый затвор

Рис. 1 – Сушилка с кипящим слоем материала:

Именно такая форма камеры позволяет достигнуть более организованной циркуляции твердых частиц, которые стремятся вверх в центре и опускаются вниз у периферии аппарата. Благодаря тому, что скорость газового потока снижается по высоте, улучшается распределение частиц в ее объеме по крупности, так же снижается и величина уноса. Это приводит к повышению равномерности прогрева частиц и позволяет снизить высоту камеры [6].

Для сушки больших объемов мелкодисперсного материала применяют секционированную сушильную камеру, поскольку на распределительных решетках большого сечения увеличивается неравномерность псевдоожижения материала, возникают трудности загрузки влажного материала на кипящий слой, рисунок 2.



1 – корпус, 2 – газораспределительная решетка, 3 – патрубки для ввода горячих газов, 4- патрубки для удаления отработанных газов, 5 - штуцеры для загрузки влажного материала, 6 – штуцеры для выгрузки высушенного материала, 7 – выгрузочный порог, 8 – люки

Рис. 2 – Четырех секционная сушилка с кипящим слоем материала [2]

Горячий теплоноситель подается под решетку вентиляторами через отдельные штуцеры в четыре секции, что позволяет создать равномерный по высоте слой и обеспечить продвижение материала к выгрузке.

Ключевым элементов в сушилках с «кипящим» слое является газораспределительная решетка. Различают два основных типа решеток – провального типа и беспровальные.

Живое сечение решёток провального типа обычно принимают 8-10%, что позволяет создать относительно высокую скорость газа в отверстиях при невысоком гидравлическом сопротивлении 800-1000 Па. Размер отверстий решетки выбирается из условия, чтобы при остановке подачи газа под решетку не происходило полное высыпание слоя, обычно размер отверстий выбирают на 0,5-1 мм больше размера частиц основной фракции.

Беспровальные решетки бывают трех- типов: колпачковые, дырчатые двухслойные и решетки с тангенциальным вводом газа. Колпачковые решетки изготавливают из жаропрочной плиты в отверстия которой вставлены сменные сопла в виде колпачков, которые крепятся винтами. Двухслойные решетки, представляют собой два параллельно расположенных листа, оси отверстий которых смещены одна относительно другой. Решетки с тангенциальным вводом газа устанавливают на сушилках прямоугольного сечения. В каждой секции такой решетки образуется вихревое движение материала, а в объеме всей сушилки имеет место взвешенный слой. Высота взвешенного слоя обычно больше высоты секции.

Металлизованная мелочь является побочным продуктом при производстве брикетов ГБЖ, характеризуется высокой степенью металлизации и широким диапазоном гранулометрического состава – от 0,1 мм до 7 мм. При использовании сушилки с кипящим слоем для сушки металлизованной мелочи, возможно потребуется сужать диапазон вариации размера частиц, возвращаемых в процесс брикетирования, для этого потребуется предусматривать операцию классификации металлизованной мелочи.

Заключение.

Для выбора и расчета сушильного агрегата необходимо выполнить дополнительные лабораторные исследования физических свойств металлизованной мелочи, и затем расчетным путем определить оптимальные диапазон вариации размера частиц, возвращаемых на брикетирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитченко Т.В. Исследование влияния гранулометрического состава материала на прочность брикетов / Т. В. Никитченко, И. М. Кожокарь, А. С. Тимофеева, В. В. Федина, Е. А. Гладкая // Сталь. 2025. 32. С. 2 – 4.
2. Нестеров А.В. Промышленная сушка : монография / А.В. Нестеров // Санкт-Петербург : Лань. 2021. 304 с.
3. Заврин В. Г. Тепломассообменное оборудование предприятий Учеб. пособие / Том. политех. ун-т. – Томск, 2004. – 163 с.
4. Лакомкин В.Ю., Смородин С.Н. Расчет и проектирование барабанной сушильной установки: учебно-методическое пособие для выполнения курсового проекта / СПб ГТУ РП. СПб., 2012. -38с., ил.12.
5. Лакомкин В.Ю., Смородин С.Н. Расчет и проектирование пневматической сушильной установки: учебно-методическое пособие для выполнения курсового проекта / СПб ГТУ РП. СПб. 2013. - 44с
6. Задарожная Татьяна Анатольевна Разработка безопасного процесса сушки субстанции оксациллина в аппарате кипящего слоя. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий». Томск. 2016. 152 с.

ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ РОССИИ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА

Гуркин В.В., студент
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Малахова О.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Черная металлургия остается системообразующей отраслью российской экономики, обеспечивая сырьем машиностроение, строительство и ОПК. Однако в последние несколько летотрасль столкнулась с беспрецедентным набором вызовов: санкционным давлением, разрывом логистических цепочек, волатильностью мировых цен и сжатием внутреннего спроса. По данным Центра стратегических разработок, в 2025 г. спрос на продукцию черной металлургии упал до минимума за 15 лет [1, 4]. Традиционная модель развития, ориентированная на экспортную экспансию, перестала быть эффективной, что требует переосмысления подходов к устойчивости [1-3] промышленных предприятий.

Концепция устойчивого развития (sustainable development) на корпоративном уровне реализуется через триединый подход (Triple Bottom Line), предполагающий баланс экономических, экологических и социальных аспектов [3]. Применительно к черной металлургии устойчивость следует понимать, как динамическую способность предприятия сохранять ключевые параметры функционирования (рентабельность, экологическую безопасность, социальную стабильность) при воздействии дестабилизирующих факторов внешней среды.

Особенностью отрасли является ее высокая ресурсо- и энергоемкость [3, 4]. На долю металлургии приходится около 15% промышленных выбросов CO_2 в России, а также значительная социальная нагрузка, поскольку многие предприятия являются градообразующими (Череповец, Магнитогорск, Новокузнецк, Старый Оскол). Период 2023–2025 гг. характеризуется устойчивыми негативными трендами. По итогам января – октября 2025 г. выплавка чугуна сократилась на 5,6%, стали – на 2%, проката – на 5,3%. Особенно драматично снижение в сегменте высоких переделов: производство труб и профилей упало на 11,9%.

Ключевые игроки демонстрируют разнонаправленную динамику: ММК зафиксировал падение выплавки стали на 13,7%, тогда как «Северсталь» благодаря высокой вертикальной интеграции сумела нарастить выпуск. Внутренний спрос сократился до 38,9 млн т, что является минимумом с 2011 г.

Анализ отраслевых источников информации и научных публикаций позволяет выделить следующие группы факторов, дестабилизирующих отрасль [1-11]:

1. Макроэкономические: жесткая денежно-кредитная политика (ключевая ставка достигала 21% в 2024 г.), переукрепленный курс рубля, рост налоговой нагрузки (повышение НДС, акциз на жидкую сталь).
2. Внешнеэкономические и санкционные: потеря премиального рынка ЕС (17% экспорта в 2021 г.), переориентация грузопотоков на Восток с ростом издержек, демпинговый экспорт китайской металлопродукции.
3. Отраслевые: падение спроса со стороны строительства (-5,6%) и автопрома (-23,6%), рост закредитованности (привлечение кредитов увеличилось на 26,5% при снижении инвестиционной активности).

Совокупность этих факторов, по оценкам консультантов, переместила отрасль в категорию «низкой ценности для инвестора» с отрицательной инвестиционной премией (разница между ROIC и доходностью ОФЗ).

В условиях кризиса обостряются внутренние противоречия между тремя компонентами устойчивости.

Экономические проблемы выражаются в падении рентабельности. У «Северстали» рентабельность по EBITDA в конце 2025 г. достигла минимума за 10 лет. Снижение прибыли ведет к инвестиционной паузе – сворачиванию программ модернизации, что создает угрозу технологического отставания. Экологические проблемы усугубляются тем, что затраты на природоохранные мероприятия становятся «удобной» статьей для сокращения расходов. Между тем, для перехода на наилучшие доступные технологии (НДТ) и выполнения целей декарбонизации требуются масштабные инвестиции, которые в текущих условиях маловероятны. Сохранение углеродоемкого экспорта создает долгосрочные риски в связи с введением трансграничного углеродного регулирования (CBAM). Социальные проблемы связаны с оптимизацией занятости в моногородах. Падение объемов производства уже привело к остановке отдельных производств (Вяртсильский метизный завод) и высвобождению персонала. Одновременно обостряется дефицит квалифицированных кадров на фоне старения персонала и сокращения корпоративных программ обучения.

Оскольский электрометаллургический комбинат, входящий в состав компании «Металлоинвест», занимает особое место в российской металлургии. Это единственное в России предприятие полного цикла, на котором реализована технология прямого восстановления железа и плавка в электропечах, что позволяет комбинату быть лидером отечественной низкоуглеродной и «зеленой» металлургии [7, 8]. В условиях кризиса именно экологические преимущества электросталеплавильного производства становятся фактором долгосрочной устойчивости.

В 2026 году компания «Металлоинвест» продолжает реализацию инвестиционных проектов [7, 8], направленных на расширение продуктовой линейки и повышение конкурентоспособности. На ОЭМК запланировано строительство специализированного участка термической обработки на шаропрокатном стане. Это позволит освоить производство мелющих шаров диаметром 80-132 мм 4-й и 5-й групп твердости. Применение такой продукции повышает эффективность измельчения руд и снижает расходы на обслуживание мельниц, что востребовано горнодобывающими предприятиями в условиях необходимости оптимизации издержек.

Развитие производства мелющих шаров на ОЭМК демонстрирует стратегию импортозамещения и укрепления технологической независимости. Расширение номенклатуры позволяет компании предлагать потребителям комплексные решения, адаптированные к индивидуальным требованиям заказчиков. Это пример того, как инвестиции в продуктовые инновации могут компенсировать негативное влияние макроэкономических факторов.

Важно отметить, что ОЭМК является градообразующим предприятием для Старого Оскола, и его устойчивое развитие непосредственно влияет на социально-экономическую ситуацию в регионе. Сохранение производственных мощностей, реализация инвестиционных программ и выполнение экологических обязательств демонстрируют приверженность компании принципам социальной ответственности даже в условиях кризиса.

Проведенный анализ позволяет утверждать, что устойчивое развитие предприятий черной металлургии в современных условиях сталкивается с системными противоречиями: между необходимостью инвестиций в модернизацию и нехваткой ресурсов, между задачами сохранения занятости и оптимизацией издержек, между долгосрочными экологическими целями и краткосрочными задачами выживания. Опыт ОЭМК им. А.А. Угарова показывает, что даже в кризисных условиях возможно сохранение инвестиционной активности и развитие «зеленых» технологий, однако для масштабирования такого опыта требуется государственная поддержка и стимулирование внутреннего спроса. Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск инструментов разрешения указанных противоречий и адаптацию успешных практик антикризисного управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белорыбкин А.Д. Влияние санкций на промышленный суверенитет в металлургической отрасли России // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Т. 14, № 5-1. С. 253–261.
2. Борисов О. Сталь не выходит в прокат // Эксперт. 2026. № 10.
3. Говорухин В.А., Кучина Е.В. Устойчивое развитие предприятий металлургической промышленности в контексте ESG-трансформации // Вестник ЮУрГУ. 2025. Т. 19, № 2. С. 120–132.
4. Информационно-технический справочник по НДТ ИТС 26-2022 «Производство чугуна, стали и ферросплавов». М.: Бюро НДТ, 2022.
5. Крылов А.Н., Мозговой А.И. Проблемы и перспективы инвестиционных проектов в металлургии // Вестник МГПУ. 2025. № 3(45). С. 105–115.
6. Малышева К. Черная металлургия: текущее состояние отрасли и позиции ключевых эмитентов // Financial One. 2026. 11 февр.
7. Металлоинвест расширяет линейку стальных мелющих шаров // Центральный металлический портал. 2026. 3 марта.
8. ОЭМК принял участников встречи с природопользователями пяти областей // Металлоснабжение и сбыт. 2026. 15 февр.
9. Петров С.П. Технологические основы декарбонизации в цепях поставок черной металлургии России // Черные металлы. 2025. № 1. С. 81–86.
10. Тимаков Я. Высокая ставка снижает ценность // Эксперт. 2025. № 52.
11. Шамина Е.И., Курдюмов А.В. Влияние изменений внешнеэкономической среды на функционирование российского металлургического комплекса // Теоретическая экономика. 2025. № 11. С. 151–162.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ РЕФОРМЕРА MIDREX ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА РЕАКЦИОННЫХ ТРУБ

Ермоленко К.А., студент
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Тимофеева А.С.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Одним из основных агрегатов в процессе прямого восстановления железа является реформер. В нем протекают реакции конверсии природного газа для получения восстановительного газа, который необходим для процесса металлизации в шахтной печи.

Целью работы является обеспечение эксплуатационной надежности реформера MIDREX и минимизация простоев установки ГБЖ за счет выбора оптимального материала реакционных труб.

Задачи работы: проанализировать причины отказов и условия эксплуатации существующих труб (Spalling, ползучесть, коррозия); провести сравнительный анализ текущих материалов (Schmidt-Clemens) с потенциальными аналогами; оценить технико-экономическую эффективность замены поставщика /материала; подобрать альтернативных производителей, способных обеспечить требуемые характеристики.

Как уже ранее было сказано в реформере, протекают реакции конверсии природного газа. Данные реакции происходят в реакционных трубах (рис.1), заполненных никелевым катализатором [1, с.33]. Для того чтобы данные реакции происходили в направлении продуктов реакции, т.е. образования восстановителей CO и H_2 необходим подвод значительного количество тепла (для смещения равновесия температура должна быть выше 750°C). Для этого в реформере установлены ряды основных и вспомогательных горелок.

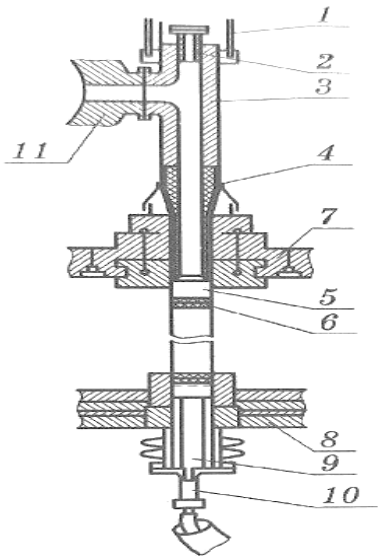


Рис. 1 – реакционная труба в разрезе
1-подвеска трубы; 2-фланец с запорной пробкой; 3-тройник; 4-изолирующая вставка; 5-реакционная труба; 6-катализатор; 7-свод реформера; 8-днище реформера; 9-подставка под катализатор; 10-труба питающего газа; 11-коллектор реформированного газа

Из-за длительного воздействия высоких температур (особенно на своде она достигает 1150°C и более) и агрессивной окислительной среды, реакционные трубы могут выйти из строя или по-простому прогореть. Наиболее сильно данному дефекту подвержена верхняя часть реакционных труб, т.к. там наиболее высокие температуры, а также эта часть

реакционных труб зачастую остается без катализатора по причине удлинения (изнутри нет теплосъема).

На рисунке 2 показано как выглядит выход реакционной трубы реформера Мидрекс через смотровое отверстие.

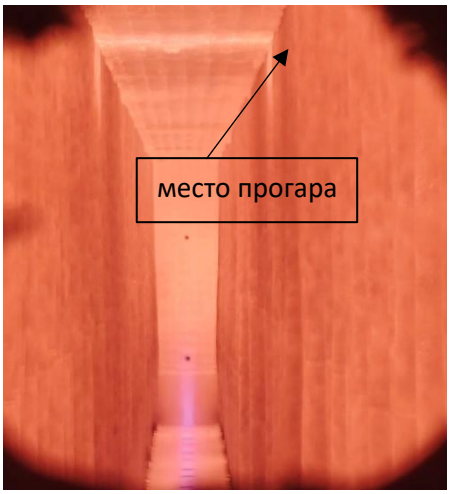


Рис. 2 – типовое место разрушения в зоне максимальных термических нагрузок

Видно свечение в верхней части реакционной трубы, горячий реформированный газ выбрасывается в топочное пространство реформера, разогревает свод, что в свою очередь может привести к прогоранию слоя футеровки и корпуса реформера.

Существуют следующие методы по недопущению прогара реакционных труб:

В период эксплуатации установки:

1. Строгое соблюдение теплового режима реформера (подина 1050°С, свод 1150 °С)
2. Регулярный замер удлинения реакционных труб и регулировка опорных подвесок (расскажи, как и для чего)
3. Контроль за содержанием серы в технологическом газе, своевременная замена катализатора ZnO в сосудах десульфурации
4. Использование природного газа для конверсии с минимальным содержанием тяжелых углеводородов (регулярный анализ газа)
5. Загрузка окисленных железорудных окатышей с заданным хим. составом (минимальное содержание S)

В период проведения капитальных ремонтов (реформер остановлен):

1. Проведение плановой процедуры топпинга (досыпки) катализатора до требуемого уровня
2. Обслуживание и очистка основных и вспомогательных горелок

На рисунке 3 показана технологическая цепочка производства ГБЖ [2, с.117].

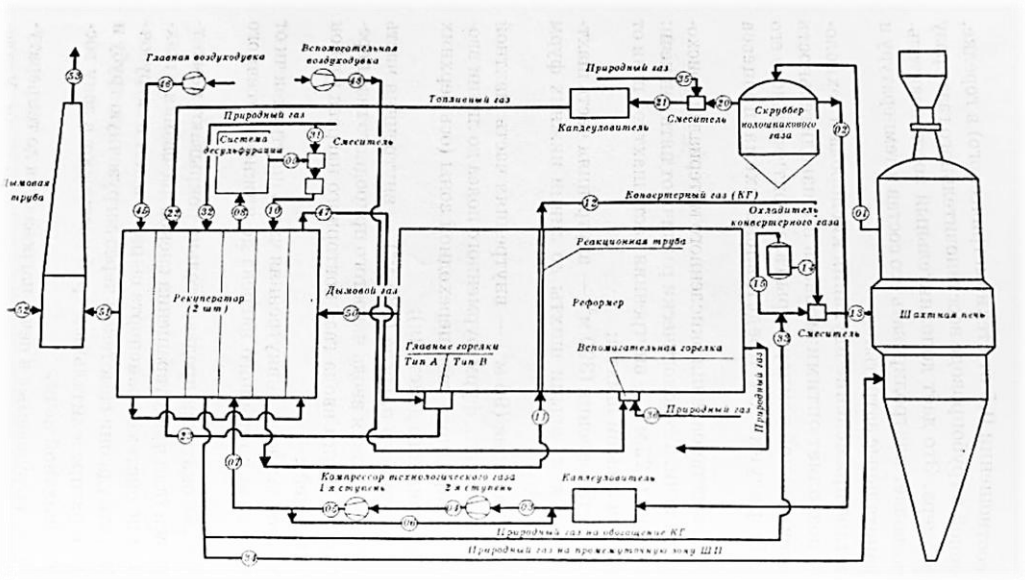


Рис. 3 – Технологическая цепочка производства ГБЖ

Она состоит из системы загрузки шахтной, системы шахтной печи, системы газоснабжения шахтной печи, системы реформера, системы рекуперации тепла, системы разгрузки шахтной печи, системы горячего брикетирования, системы оборотных циклов воды, системы управления установкой

Реакционные трубы изготавливают центробежным литьем, сырьем являются никель и хром.В нижней части трубы содержится до **36% Ni** и до **26% Cr**, в верхней части – до **50% Ni** и до **29% Cr** [1, с.33].

В ЦГБЖ-2 и ЦГБЖ-3 АО «Лебединский ГОК» эксплуатируются реакционные трубы **Schmidt – Clemens** выполненные из следующих сплавов **G 4852 MICRO, G 4879 MICRO, 60 HTD.** До этого в эксплуатации были реакционные трубы фирмы МИДРЕКС, которые не зарекомендовали себя с точки зрения надежности.

К достоинствам можно отнести следующие свойства:

- Сопротивление длительному воздействию тепловых нагрузок;
- Стабильная работа в агрессивной восстановительной среде;
- Оптимальный запас прочности на растяжение;
- Высокий предел текучести;
- Долгий срок службы.

Недостатками являются:

- Высокая стоимость:
- Небольшое количество производителей труб;
- Сложность процесса монтажа/замены.

В таблице 1 и 2 показаны свойства стальных сплавов в зависимости от процентного содержания основных легирующих элементов (в частности Cr и Ni) для производства реакционных труб [3].

Таблица 1 – свойства стали в зависимости от содержания Cr

Класс стали	**Диапазон концентраций**	**Основная задача**	**Ключевые эффекты**
Низколегированные стали	0,3–1,0% Cr	Повышение коррозионной стойкости и закаливаемости	Повышенная прочность, умеренная коррозионная стойкость

Конструкционные	0,5–2,0% Cr	Общая коррозионная стойкость и прочность	Улучшенная пластичность, окислительная стойкость
Нержавеющие (ферритные) стали	10,5–30% Cr	Коррозионная стойкость, магнитные свойства	Отличная коррозионная стойкость, магнитное поведение
Аустенитные нержавеющие стали	16–20% Cr	Коррозионная стойкость, пластичность	Высокая коррозионная стойкость, хорошая формуемость

Таблица 2 – свойства стали в зависимости от содержания Ni

Класс стали	**Диапазон концентраций**	**Основная задача**	**Ключевые эффекты**
Аустенитные нержавеющие стали	8–12% Ni	Коррозионная стойкость, пластичность	Повышенная коррозионная стойкость
Мартенситные нержавеющие стали	0,2-1,0% Ni	Закаляемость	Умеренная коррозионная стойкость
Высокопрочные низколегированные стали	0,2-0,5% Ni	Прочность	Микроструктурная стабилизация, улучшенная ударная вязкость
Коррозионностойкие жаропрочные стали	18–50% Ni	Жаропрочность, коррозионная стойкость	Повышенная прочность, коррозионная стойкость, жаропрочность и износостойкость

Можно заметить, что с увеличением концентрации Cr и Ni в сплаве, он обретает необходимые свойства для изготовления реакционных труб, таких как жаропрочность, корозионностойкость и достаточная пластичность. Кроме того, в зависимости от определенной части реакционной трубы, сплав может содержать до 3% Mo, до 6% W, 4,5% Al, 1,5% Nb.

Т.к. в настоящее время нет возможности приобрести зарекомендовавшие себя трубы фирмы **Schmidt – Clemens,** был найден альтернативный производитель.

Таким производителем является компания ЦИНДАО ЭНПИЭЙ (Китай). Компания производит реакционные трубы методом центробежного литья, сварка производится на автоматической установке в инертной аргонной среде. Сплавы, которые использует компания представлены в таблице 3.

Таблица 3 – сплавы для производства реакционных труб, которые использует компания ЦИНДАО ЭНПИЭЙ

	NH25-35MIC	**NH28-48-5W**	**NH1949**
Cr	24–27%	26–30%	25–29%
Ni	33–36%	46–50%	43–47%
Nb	0,5–1,5%	0,5–1,5%	/
W	≤0,6%	4–6%	4–6%
Si	0,5–1,5%	≤2%	/
C	0,4–0,5%	0,4–0,6%	0,4–0,55%
Mn	≤1,5%	≤1,5%	/
S	≤0,03%	≤0,03%	≤0,03%
P	≤0,03%	≤0,03%	≤0,03%
Mo	≤0,5%	≤0,5%	≤0,5%
Al	≤0,05%	≤0,05%	3–4,5%
Cu	≤0,15%	≤0,1%	≤0,1%
Ti	≤0,3%	≤0,3%	≤0,3%
Pb	≤0,005%	≤0,005%	≤0,005%
Sn	≤0,1%	≤0,1%	≤0,1%

Продукцию данного производителя используют такие компании как **Stone & Webster** (змеевики рекуператора), **ExxonMobil** (теплообменники печи крекинга), **Selas Linde** (змеевики нагревателя HYL), **IRIKA MAKRAN Steel Complex** (реакционные трубы реформера).

Компания заявляет то, что трубы их производства не будут уступать европейским и заявляют срок службы 100 000 часов или не менее 10 лет, а диапазон рабочих температур составляет 1000–1200 °С, что соответствует тепловому режиму реформера МИДРЕКС.

Также была произведена оценка эффективности своевременной замены реакционных труб на примере реформера МИДРЕКС ЦГБЖ-2. Выход из строя реакционной трубы приводит к остановке установки с выгрузкой печи. При выходе из строя одной трубы простой составляет от 28 до 32 часов. Производительность ЦГБЖ-2 в среднем 200 т/час, при средней цене 20000 руб/т брикетов, потери составят 112 млн. рублей. Также будет работать вспомогательное оборудование, расход электроэнергии составит около 5 МВт/ч, при средней цене за МВт/ч 17174 рубля, потери составят 2 млн. 404 тыс. рублей. Общие потери от выхода из строя одной реакционной трубу составят 114 млн. 404 тыс. рублей.

Расчет является приблизительным, потери могут быть скорректированы как в большую, так и в меньшую сторону. Хочется отметить, что зачастую практически невозможно выявить конкретно прогоревшую реакционную трубу, поэтому обычно глушится весь ряд

секции, это 5 труб. Это неизбежно приведет к более продолжительному простою установки и увеличению потерь.

Установка качественных труб — это залог: стабильной работы реформера, высокой производительности установки, высокого качества реформированного газа, минимизации потерь связанных с выходом из строя реакционных труб реформера, экологической безопасности процесса. Замкнутый цикл, невозможность выбросов горючих и отравляющих веществ.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Установлены корневые причины разрушения реакционных труб.

Комплексное воздействие высоких температур (до 1150 °C) восстановительной среды, содержащей серу, и циклических термических нагрузок приводит к ползучести и коррозии металла, что требует применения особо жаропрочных сплавов.

2. Подтверждена безальтернативность Ni-Cr основы.

Для работы в условиях реформера MIDREX необходимы сплавы с высоким содержанием никеля (до 50%) и хрома (до 29%). Текущие материалы полностью отвечают этим требованиям, но их высокая стоимость и ограниченный круг поставщиков создают риски.

3. Выявлен перспективный альтернативный поставщик.

Qingdao NPA Industry Co. Ltd (KHP) - мировой опыт и референции в России

4. Оценен экономический ущерб от потенциального отказа.

Выход из строя даже одной реакционной трубы приводит к внеплановому простою. Прямые потери от недовыпуска продукции и затрат на электроэнергию составляют более 114 млн рублей за один инцидент, что многократно превышает стоимость самой трубы.

5. Определены технологические и экономические преимущества.

Применение качественных труб гарантирует:

- стабильный состав реформированного газа
- исключение аварийных выбросов (герметичность системы)
- увеличение межремонтного пробега установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеева, А. С. Физико-химические основы реформинга газов: учебное пособие / А.С. Тимофеева, Т.В. Никитченко, Е.С. Тимофеев, В.В. Федина. - Старый Оскол: "ТНТ", 2019. - 156 с.

2. Тимофеева, А. С. Теплофизические особенности производства окисленных окатышей и металлизованного продукта: учебное пособие / А.С. Тимофеева, Е.С. Тимофеев. - Старый Оскол: "ТНТ", 2015. - 204 с.

3. Влияние легирующих элементов на конечные свойства стальных сплавов [Электронный ресурс] URL: https://metalzenith.com/ru/blogs/chemical-elements-compounds-terms/nickel-ni-key-alloying-element-enhancing-steel-durability-and-corrosion-resistance (дата обращения: 03.04.2026).

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Калинин Е.В., магистрант 2 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Черменев Е.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Железорудные окатыши являются важным видом металлургического сырья, используемого в процессах доменного и прямого восстановления железа. Качество готовых сырых, так и обожженных окатышей, определяется не только химическим составом подготовленной шихты, но и зависит от условий их формирования на стадии окомкования. При совершенствовании производства, внедрении альтернативных видов сырья, флюсов и других материалов возникает необходимость в проведении большого количества исследований, для которых необходимо получать экспериментальные окатыши. В лабораторных условиях обычно их получают в специальных лабораторных окомкователях принцип действия которых базируются на тех же физических механизмах, что и промышленных, но отличаются как правило меньшей вместимостью (порядка несколько килограммов шихты за цикл), упрощённой конструкцией, а режим в основном с ручной или полуавтоматической настройкой. При этом окомкование напрямую зависит от человеческого фактора, добавление воды в процесс производства регулируется индивидуально, это значительно влияет на геометрические параметры окатышей и выход годных. Полученные окатыши даже после рассева по узким фракциям отличаются по размерам что вносит погрешности в результаты исследований. В результате для этого процесса требуется большое количество материалов. По этим причинам становится целесообразным разработать более простую и с большим выхода годных методику лабораторного получения окатышей [1,2].

Разработка новой методики получения окатышей ручным способом и сравнение со способом получения в лабораторном окомкователе была произведена на кафедре металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой СТИ НИТУ «МИСИС».

Подготовка шихты осуществляется по одной схеме и включает в себя: определение текущей влажности концентрата; расчет и отбор навески необходимого количества компонентов; смешивания компонентов шихты до однородного состояния, с добавление воды для корректировкой влажности концентрата до заданного уровня; выдержка материала в течение 30 мин; протирка смеси через сито 1 мм, для упрощения окомкования [3]. При этом количество шихты для получения окатышей в лабораторном окомкователе составляло 2,3 кг, а для ручного способа рассчитывалось исходя из средней массы одного окатыша, согласно фракциям 12-13 мм, а также необходимого числа окатышей для проведения опытов и технологического запаса и составляет 150 г шихты на 40 окатышей.

Получение окатышей в лабораторном окомкователе осуществляется по следующей схеме: загрузка подготовленной шихты в работающий лабораторный окомкователь; добавление воды путем разбрызгивания из пульверизатор, до появления зародышей окатышей; последующее периодическое добавление шихты с увлажнением. Окомкование обычно занимает около 10 минут. Полученные окатыши подвергаются рассеву на ситах с выделением нужной фракции, обычно 12-13 мм.

Получение окатышей ручным способом производилось поштучно до необходимого количества по следующей схеме: отбор навески шихты в пределах от 3 до 4 г; формирование вручную единого уплотненного комка шихты; окатывание комка круговыми движениями ладоней до формы шара с контролем диаметра с помощью сита с ячейкой 12 мм. В процессе получения окатышей для поддержания влажности необходимо периодически увлажнять руки.

Основными различиями между рассматриваемыми методами заключается в способе формирования окатыша и расходом материала. Лабораторный окомкователь образует

окатыши механическим способом, что обеспечивает приближенные к промышленным условия, но требует большое количество материала, так как приводит к получению окатышей различных фракций, а также из-за частичного налипания шихты на рабочую поверхность барабана. При ручном методе получения окатышей, формировании осуществляется из небольшой навески увлажненной шихты, что позволяет более экономично использовать материал и получать требуемое количество окатышей необходимой фракции с меньшими потерями.

Для оценки возможности применения ручного метода провели сравнительные опыты по получению окатышей в лабораторном барабанном окомкователе и ручным способом.

Состав шихты: концентрата, бентонит в дозировке 0,8 % и вода для доведения до заданной влажности 9,8 %. Ручным способом для проведения опытов было изготовлено 35 штук окатышей для последующего обжига и испытаний на прочность в сыром состоянии соответственно. Полученные в лабораторном окомкователе окатыши были рассеянные на ситах с выделением фракции 12-13 мм с отбором такого же количества на опыты.

Сырые окатыши подвергались испытаниям на прочность в сыром состоянии (прочность на сжатие и на сброс по 5 штук).

Окатыши для обжига подвергались сушке в сушильном шкафу при температуре 105 °С. С целью определения влажности производилась фиксация масс каждого окатышей во влажном и высушенном состоянии. Для высушенных окатышей определялись геометрические параметры (диаметр каждого измерялся в трех взаимно перпендикулярных плоскостях с последующим определением среднего диаметра) и фиксировались массы после замеров. На основе полученных данных рассчитывались плотности высушенных окатышей.

Окатыши подвергались обжигу в лабораторной камерной печи. Технологический режим обжига окатышей включал 6 этапов: выдержка (сушка) в течение 16 минут при 400 °С, нагрев от 400 °С до 1000 °С за 40 минут, нагрев от 1000 °С до 1250 °С за 25 минут, выдержка (обжиг) в течение 15 минут при 1250 °С, охлаждение от 1250 °С до 1000 °С за 15 минут, охлаждение от 1000 °С до 500 °С за 12 минут. График технологического режима обжига окатышей представлен на рисунке 1.

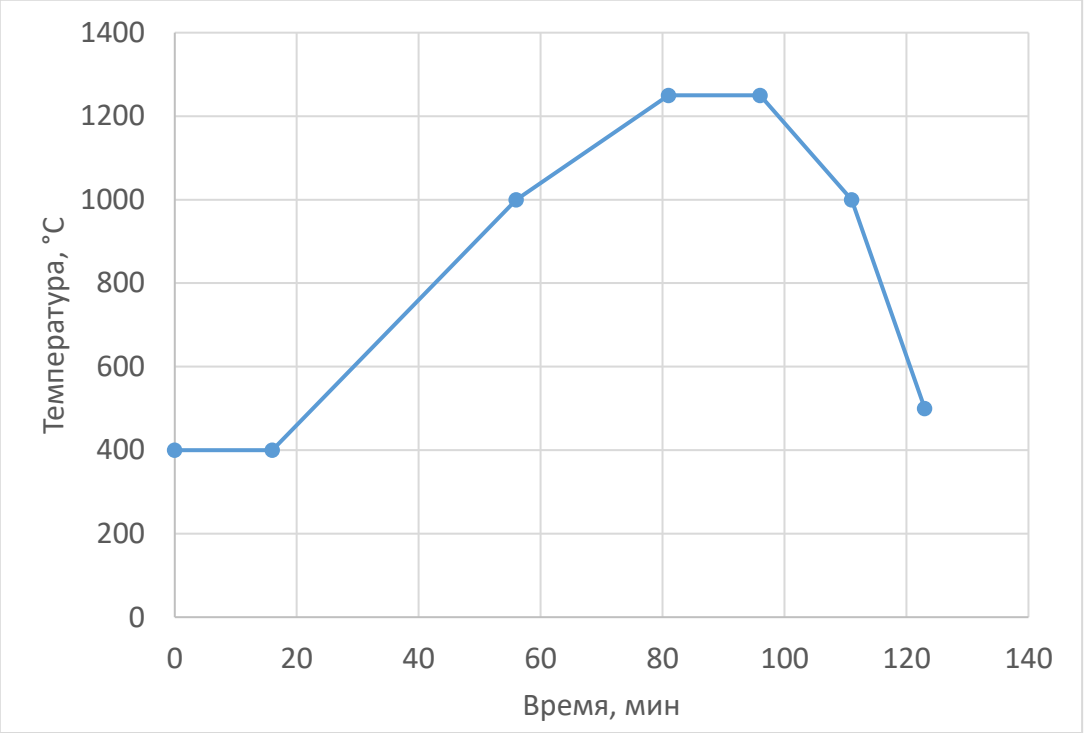


Рис. 1 – График технологического режима обжига окатышей

После обжига для полученных окатышей проводились аналогичные замеры с определением среднего диаметра и плотности. Также рассчитывалось изменения масс окатышей при обжиге. Для определения прочности обожженных окатышей их испытывали на лабораторном прессе.

После проведения измерений и расчетов была произведена статистическая обработка экспериментальных данных. В ходе обработки определяли средние значения показателей, стандартные отклонения и доверительный интервалы при уровне значимости α = 0,05 [4].

Результаты статистической обработки приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика свойств высушенных окатышей

Параметр	Влажность, %		Средний диаметр, мм		Размах $d_{макс} - d_{мин}$, мм	
Методика	Ручная	Барабан	Ручная	Барабан	Ручная	Барабан
Стандартное отклонение	0,56	0,12	0,196	0,274	0,377	0,571
Минимальная граница доверительного интервала	8,72	6,88	12,944	11,942	0,493	1,141
Среднее значение	8,95	6,93	13,025	12,055	0,649	1,376
Максимальная граница доверительного интервала	9,18	6,98	13,105	12,169	0,805	1,612
Параметр	Масса, г		Плотность, кг/м^3			
Методика	Ручная	Барабан	Ручная	Барабан		
Стандартное отклонение	0,1384	0,2213	68	190		
Минимальная граница доверительного интервала	3,530	3,035	3072	3329		
Среднее значение	3,587	3,126	3100	3408		
Максимальная граница доверительного интервала	3,644	3,218	3128	3486		

По результатам определения влажности видно, что окатыши, полученные ручным методом, характеризуется большим разбросом результатов, по сравнению с окатышами полученными в барабане. Показатель влажности ручных в где-то на 30 % выше.

Доверительный интервал для средних диаметров окатышей, полученных ручным способом где-то на 30 % меньше, что указывает на то, что при ручном формировании образцы имеют более стабильные размеры.

Для оценки правильной формы окатыша дополнительно определялся размах (разность между максимальными и минимальными значениями замеров) для каждого окатыша. По данному критерию ручной способ лучше, поскольку размах меньше в 2 раза, следовательно ручные окатыши имеют более правильную геометрическую форму.

Анализ массы высушенных окатышей до обжига также показал преимущество ручного способа с точки зрения однородности образцов. Доверительный интервал для масс при ручном окомковании оказался меньше в 1,6 раза, или на 37,5 %. При этом средняя масса окатышей, полученных ручным способом, оказалась на 14,7 % больше.

Схожая картина наблюдается и при анализе плотности высушенных окатышей. Доверительный интервал значений плотности у ручных был значительно ниже в 2,8 раза. При этом средняя плотность высушенных окатышей, полученных ручным методом, была ниже на 9 %, возможно в том числе из-за большей влажности.

Следовательно, несмотря на более низкую плотность, ручной метод обеспечивал получение более однородных по плотности образцов.

Прочностные свойства сырых окатышей оценивали по результатам испытаний на сжатие и при сбросе, сравнительная характеристика представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика прочностных свойств сырых окатышей

Параметр	Прочность на сжатие, кг/окат.		Прочность на сброс, раз	
Методика	Ручная	Барабан	Ручная	Барабан
Стандартное отклонение	0,032	0,091	0,8	1,0
Минимальная граница доверительного интервала	0,280	0,603	2,2	6,7
Среднее значение	0,320	0,748	3,2	8,3
Максимальная граница доверительного интервала	0,360	0,892	4,2	9,8

По результатам испытаний на прочность на сжатии установили, что окатыши, полученные ручным методом, характеризуются меньшим разбросом значений в 3,6 раза, это свидетельствует о более равномерном формировании их прочностных свойств. При этом прочность на сжатие оказалась ниже на 57 %, что свидетельствует о том, что по абсолютному уровню сопротивления на сжатие ручной метод уступает барабанному.

При испытаниях на прочность при сбрасывании разброс значений для ручных оказался меньше в 1,5 раза, что указывает на более равномерные свойства образцов. Однако по среднему значению данный метод показал худший результат, число сбрасываний в среднем оказалось меньше на 60 %.

В целом результаты испытаний показывают, что ручной метод позволяет получать более однородные по прочности сырые окатыши, но уступает барабанному способу по значениям прочности при сжатии, так и при сбрасывании. Скорее всего снижение прочностных характеристик, вероятно, связано с их меньшей плотностью.

Для оценки свойств обожженных окатышей полученных ручным методом, провели аналогичный анализ свойств обожженных окатышей. Сравнительная характеристика механических свойств обожженных окатышей представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика свойств обожженных окатышей

Параметр	Прочность на сжатие, кг/окат.		Плотность, кг/м^3		Увеличение массы, %	
Методика	Ручная	Барабан	Ручная	Барабан	Ручная	Барабан
Стандартное отклонение	80,7	87,6	127	115	0,03	0,06
Минимальная граница доверительного интервала	463,7	466,2	3485	3799	2,79	2,77
Среднее значение	497,1	502,3	3537	3846	2,80	2,79
Максимальная граница доверительного интервала	530,4	538,5	3590	3894	2,81	2,82

По результатам испытаний обожженных окатышей установили, что прочностные характеристики не отличаются, что позволяет считать данный показатель одинаковым для обеих методик.

Различия в плотности окатышей остались приблизительно на том же уровне. Средняя плотность обожженных окатышей, полученных ручным методом, была ниже на 8 %, что свидетельствует о большей пористости их структуры после обжига. При этом сниженная плотность окатышей, полученных ручным методом, не привела к снижению прочности после обжига относительно барабанного метода.

Изменения массы окатышей в процессе обжига для обеих методик также оказалась практически одинаковой, что свидетельствует, что степень окисления магнетита при обжиге полученных окатышей не отличается. При этом разброс значений ручных окатышей оказался ниже в 2 раза, что свидетельствует о большей однородности изменения массы в процессе термической обработки.

Таким образом, в результате проведенного сравнения ручного и барабанного методов окомкования установлено что прочность обожженных окатышей, как и степень окисления магнетита не отличается, хотя плотность полученных окатышей ниже на 8 %. Следовательно ручной способ получения окатышей может быть использован для проведения исследований по прочностным свойствам обожженных окатышей и при этом они могут быть напрямую сопоставлены с результатами окатышей полученными при барабанному методе.

Сырые окатыши, сформированные вручную, по сравнению с окатышами, полученных в лабораторном барабаном окомкователе, характеризовались более высокой влажностью и более низкими прочностными характеристиками на сжатии (- 57 %) и на сброс (- 60 %) что потребует пересчета для сравнения этих показателе при сравнении результатов при разном методе получения окатышей. При этом плотность окатышей, полученных ручным методом, была ниже на 9 %, возможно в том числе из-за большей влажности, что свидетельствует о формировании более пористой структуры, которая и могла привести к более низким показателям прочности. Вместе с тем ручной метод обеспечивал более устойчивые геометрические параметры с меньшим разбросом по диаметру, а также с более правильной формой, что приводит меньшему разбросу других параметров окатышей (массы, плотности, прочности на сжатие и на сброс).

Соответственно, в результате проведенной серии опытов, ручное окомкование может быть рассмотрено как допустимый способ получения железорудных окатышей для проведения экспериментальных исследований свойств сырых и обожженных окатышей при использовании различной шихты: концентрата, флюса, связующих и добавок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальцева В. Е. Окомкование и подготовка материалов: технология и системы управления: Монография / Мальцева В. Е., Селезнев В. С., Чукин Д. М. 1– Старый Оскол: ТНТ, 2026. – 524 с.
2. Журавлёв, Ф. М. Окатыши из концентрированных железистых кварцитов / Ф.М. Журавлёв, Т.Я. Малышева. - М.: Металлургия, 1991. - 127 с.
3. Тимофеева, А. С. Производство окисленных и металлизованных окатышей: учебное пособие для выполнения лабораторных работ для студентов, обучающихся по напр. 22.03.02 / А.С. Тимофеева, В.В. Федина. - Старый Оскол: СТИ НИТУ МИСиС, 2017. - 55 с.
4. Скляр В.А., Смирнов Е.Н. Организация и математическое планирование эксперимента. Учебно-методическое пособие для проведения практических занятий. - Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСиС», 2016 г. - 48 с.

ВЫПЛАВКА СТАЛИ В ДСП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ SiO_2

Карамин А.В., Бондарчук А.А., Губеев Я.А.

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

Современная сталеплавильная промышленность стоит перед комплексом вызовов, связанных с необходимостью повышения экономической эффективности, снижения экологической нагрузки и улучшения качества металлопродукции. Одним из ключевых направлений технологической модернизации является оптимизация состава шихтовых материалов. Традиционно используемый металлолом характеризуется нестабильным химическим составом и высоким уровнем загрязняющих примесей, что негативно сказывается на качестве металла. В этом контексте металлизованные окатыши, получаемые методом прямого восстановления железа, представляют собой высококачественную шихту с известным и стабильным содержанием железа [1-2].

Особое значение имеет снижение содержания кремнезема (SiO_2) в металлизованных окатышах. Высокий SiO_2 приводит к повышенному расходу извести, росту шлакообразования и снижению производительности печи, и увеличению себестоимости стали.

Таким образом, использовании технологии выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи с использованием металлизованных окатышей с низким содержанием SiO_2 является актуальной научно-практической задачей, решение которой направлено на повышение технико-экономических и экологических показателей сталеплавильного передела [3-5].

В данной публикации представлены результаты промышленных испытаний - оценка технико-экономических показателей при производстве стали в электросталеплавильном цехе из металлизованных окатышей, полученных из железорудных офлюсованных окатышей с использованием железорудного концентрата после его флотации.

Проведен сравнительный анализ работы ДСП при использовании в металлозавалке опытных окатышей и металлизованных окатышей стандартного качества. Для анализа показателей работы ДСП. В качестве базового периода были выбраны периоды работы, где показатели работы печи имеют сопоставимые параметры, влияющие на технические показатели работы ДСП.

В опытный период среднее содержание SiO_2 в металлизованных окатышах снизилось на 1,4 % (37 % отн.) - с 3,74 % до 2,34 %, среднее содержание $Fe_{мет}$ увеличилось на 2,0 % (2,4 % отн.), с 84 % до 86 %.

Результаты химического анализа проб опытных металлизованных окатышей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав металлизованных окатышей

Металлизованные окатыши	$Fe_{мет}$, %	$Fe_{общ}$, %	SiO_2, %	CaO, %	C, %	Ст. мет.
Опытные	86	91,9	2,34	0,94	2,33	93,58
База	84	89,8	3,74	1,69	2,33	93,54
Δ	2	2,2	-1,4	-0,76	0	0,04

В связи с пониженным содержанием SiO_2 в опытных окатышах и с целью поддержания основности шлака ДСП в пределах 1,8-2,0 производилось поэтапное снижение расхода извести. После получения стабильной основности шлака в ДСП в переделах 1,8-2,0, общее количество извести, отдаваемое в ДСП на плавку, было в среднем снижено на 1,9 тонны (22,5 % отн.).

Химический состав шлака ДСП в опытный период (со сниженным количеством

извести) по содержанию SiO_2, CaO, $Fe_{общ}$ и основности сопоставим с химическим составом шлака ДСП в базовом периоде. Содержание Al_2O_3, MgO в шлаке ДСП в опытный период выше, чем в базовый период. Данный факт объясняется снижением общего объема шлака и отсутствием разбавления этих оксидов. Увеличение содержания оксида магния (MgO) в шлаке оказывает положительное влияние на стойкость футеровки и расход ремонтных магнезитсодержащих материалов и как следствие приводит к сокращению межплавочного периода и увеличению производительности ДСП.

Расход извести, кислорода и удельного расхода электроэнергии в периоды производимых испытаний представлен в таблице 2.

Таблица 2 - Расход извести, кислорода и удельного расхода электроэнергии в периоды производимых испытаний

Период	Известь, т	Кислород, $м^3$	Уд. расход эл. энергии, кВт·ч/т	Температура выпуска, °С	Производительность, т/ч
Опытный	6,4	3984	594,1	1667	104,6
Базовый	8,2	4059,3	617	1661	102,4
Δ	-1,9	-75,3	-22,9	6,1	2,2
Изменение, %	-22,5	-1,9	-3,7	0,4	2,1

Таким образом, удельный расход электроэнергии по жидкому металлу в опытный период составил 594,1 кВт·ч/т, что с учетом приведения по температуре выпуска на 25,1 кВт·ч/т (4,1 % отн.) ниже, чем в базовый период. Снижение расхода электроэнергии объясняется снижением расхода извести, так как известь является тугоплавким материалом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Воскобойников, В.Г., Кудрин, В.А., Якушев, А.М. Общая металлургия [Текст]: учебник для вузов / Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. - 6-изд., перераб и доп. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. - 768 с.

2 Тулин, Н.А., Кудрявцев, В.С., Пчелкин, С.А. и др. Развитие бескоксовой металлургии. Под ред. Тулина Н. А., Майера К. М.: Металлургия, 1987. 328 с.

3 Меркер, Э.Э. Тепловые процессы и режимы в печах бескоксовой металлургии / Э.Э. Меркер. Учебное пособие для вузов. - 3-е изд., стер. - Старый Оскол: ТНТ, 2010. - 150 с.

4 Юсфин, Ю. С. Металлургия железа: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению Металлургия / Ю. С. Юсфин, Н. Ф. Пашков. - Москва: Академкнига, 2007. - 464 с.

5 Каблуковский, А.Ф. Производство электростали и ферросплавов / А.Ф. Каблуковский. - М.: ИКЦ "Академкнига", 2003. - 511 с.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БРИКЕТОВ ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Карамин А.В., аспирант
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Скляр В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В последние годы наблюдается значительное внимание к вопросам рационального использования ресурсов и утилизации побочных продуктов металлургического производства. Брикетирование попутной продукции позволяет значительно повысить эффективность производства в целом. Этот метод обеспечивает более эффективное использование отходов (шлама, металлизованной мелочи) что, способствует уменьшению нагрузки на окружающую среду [1].

Технология брикетирования включает в себя несколько ключевых этапов, таких как подготовка сырья, формирование брикетов и их последующая термическая обработка. Но, наибольший интерес представляет собой процесс холодного брикетирования без применения термической обработки. Так как при данной технологии дополнительно не требуется расход энергоносителей для подогрева шихты или же процесса обжига готовых брикетов [2]. Получившиеся брикеты могут использоваться в качестве исходной шихты при выплавке стали.

В данной публикации рассмотрим опыт использования брикетов из отходов металлургического производства в сталеплавильном переделе.

В публикации [3] отмечается, что компания «Крупп» активно использует брикетирование попутной продукции. Процессу брикетирования подвергается шлам газоочисток и мелочь от окатышей, возникающая при процессе восстановления. Получившиеся брикеты активно используются в сталеплавильном производстве.

Еще одним примером, реализующим процесс рециклинга, является шведская компания SSAB. Данная компания активно производит брикеты из прокатной окалины и пыли газоочисток конвертерного производства. В качестве связующего материала используется цемент. Прессование осуществляется за счет виброуплотнения и силы прессования. Получившиеся брикеты подвергаются естественной выдержке в течение двадцати одного дня на воздухе [3]. Вес получившихся брикетов – 0,5 кг. Форма брикетов – шестиугольная. Внешний вид брикетов, полученных на предприятии SSAB представлен на рисунке 1.

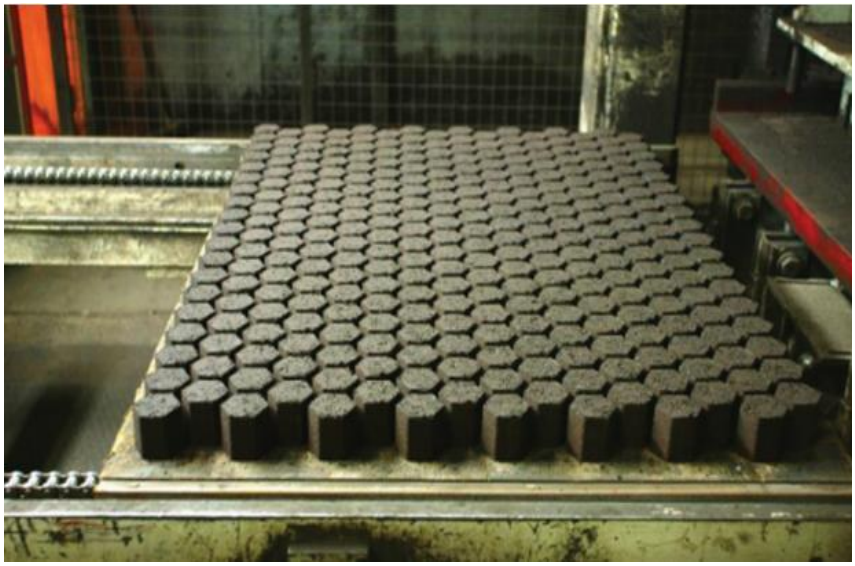


Рис.1 – Внешний вид брикетов полученных на предприятии SSAB

После данные брикеты применяются в доменных печах для получения передельного чугуна и последующего получения стали в кислородном конвертере.

Опыт процесса горячего брикетирования конвертерной пыли имеется и на австрийских предприятиях «Фест-Альпине». В качестве шихты использовалась пыль конвертерного производства, уловленная с помощью электрофильтров. Полученные брикеты использовались в сталеплавильной производстве (добавка в кислородный конвертер) [4].

Также в настоящее время брикетированию подвергается и отсев окатышей. Например, металлургическая компания Primetals в 2017 году в Техасе активно запустила производство брикетов из отсева окатышей и шлама металлизации. Получившиеся брикеты подаются в шахтную печь для процесса восстановления [2].

Опыт применения утилизации металлургических отходов, образующихся при производстве металлургического сырья на территории нашей страны менее богат. Но, однако, такой опыт имеется. Например, в Нижнем Тагиле на АО «ЕВРАЗ НТМК». На данном предприятии брикетированию подвергаются: шламы конвертерного производства, окалина и шламы, полученные с мокрых аппаратов газоочисток доменных печей. Брикетирование осуществляется на валковых прессах, так и вибрационных. В качестве связующего вещества используются органические и минеральные материалы. Процесс сушки происходит естественным образом или же в специальной сушилке при температуре до 100 ℃. Отмечается, что прочность брикетов варьируется от 8 до 15 МПА. Полученные брикеты загружались в доменную печь с расходом 45 килограмм брикетов на тонну чугуна. Отмечается, что использование добавки брикетов в доменную печь не ухудшает работу печи. Показатели получаемого чугуна не ухудшились [5].

Рециклинг отходов металлургического производства за счет процесса экструзиии широко практикуется на предприятия ПАО «НЛМК». На предприятии используется классическая доменная технология выплавки стали. Образующиеся отходы производства активно подвергаются процессу брикетирования. В качестве шихты для брикетирования используется шлам конвертерного и доменного производства и коксовая мелочь. В качестве связующего материала применяют цемент. Брикетирование осуществляется за счет вакуумной экструзии. Получившиеся брикеты загружают в доменную печь. Расход брикетов составляет до 190 килограмм на тонну чугуна. Отмечается, что добавка таких брикетов способствует снижению расхода кокса на 22 килограмма на тонну чугуна. Но, производительность печи снижается на 100 тонн в сутки [6].

Также отмечается, что на ПАО «НЛМК» производятся и брикеты с добавкой прокатной окалины. Расход таких брикетов составляет 60 кг на тонну чугуна. Добавка таких брикетов в доменную печь не значительно влияет на производительность печи. Отмечается, что брикетирование отходов доменного и прокатного производства является хорошим вариантом сокращения техногенного воздействия. Получившиеся брикеты удовлетворяют всем требованиям доменной шихты и успешно используются в процессе получения чугуна. Добавка брикетов способствует сокращению расхода кокса [6].

Также стоит сказать, что в публикации [7] описывается технология жесткой вакуумной экструзии для утилизации отходов доменного производства, реализованная на территории завода Suray (Индия). Исходной шихтой для брикетов вакуумной экструзии служили следующие компоненты: колошниковая пыль, бентонит, конвертерный шлам, цемент. Полученные сырые брикеты подвергаются сушке в естественных условиях в течении 3 суток. После того, как брикеты приобретут основные прочностные характеристики, брикеты загружаются в малую доменную печь.

В заключение настоящего анализа представляется необходимым резюмировать, что получаемые в результате брикетирования техногенные образования металлургического передела находят широкое и технологически обоснованное применение в качестве вторичного материального ресурса в рамках основных агрегатов черной металлургии. Практика промышленного использования данных материалов охватывает как сталеплавильный, так и доменный переделы. В частности, брикетированное сырье выступает в роли эффективной

шихтовой составляющей при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах (ДСП). Кроме того, применение железосодержащих брикетов технологически оправдано в кислородно-конвертерном процессе, где они выполняют функцию охладителей плавки и дополнительного источника железа, частично замещая дорогостоящий металлолом и железорудное сырье. Помимо сталеплавильного передела, данные брикеты успешно утилизируются в доменном производстве чугуна, выступая альтернативой агломерату и окатышам при условии соблюдения требований к механической прочности и восстановимости.

Ключевым критерием, детерминирующим выбор конкретного направления утилизации (будь то доменный процесс или конкретный тип сталеплавильного агрегата), является конечный химический состав получаемой товарной продукции, а также специфика технологического цикла передела. Оптимизация маршрута использования брикетированных отходов осуществляется на основе анализа содержания в них таких элементов, как общее и металлическое железо, оксиды кальция и магния (основность), а также вредных веществ - серы, фосфора. Таким образом, рациональное вовлечение брикетированных отходов металлургического производства в хозяйственный оборот не только решает задачу снижения экологической нагрузки на окружающую среду путем ликвидации шламовых накопителей и отвалов, но и представляет собой действенный механизм ресурсосбережения, позволяющий гибко регулировать химический состав выплавляемого металла и себестоимость готовой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карамин А.В., Ермоленко К.А. Анализ путей переработки шламов металлизации / А.В. Кармин, К.А Ермоленко, А.Х. Шарипов // Сборник научных трудов XXI конференции студентов и аспирантов. 2023 – Текст: непосредственный
2. Ожогин В.В., Томаш А.А., Ковалевский И.А. Брикетирование как полноправный метод окускования металлургического сырья // Металлургические процессы и оборудование. – 2005. – №2. – с.54-58.
3. Скобелев Д.О. Энциклопедия технологий. Эволюция и сравнительный анализ ресурсной эффективности промышленных технологий Коллективная монография. — М.; СПб.: Реноме, 2019. — 824 с.
4. Мащенко В.Н., Набойченко С.С., Книсс В.А., Жуков В.П., Полянский Л.И. Производство брикетов с высокими технологическими свойствами из окисленной никелевой руды // Цветные металлы. – 2006. - №8. – С.17-24.
5. Рециклинг на АО «ЕВРАЗ НТМК» [Электронный ресурс] URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-othodov-gorno-metallurgicheskih-i-metallurgicheskih-proizvodstv-v-tselyah-ratsionalnogo-prirodopolzovaniya/viewer (дата обращения: 25.11.2024).
6. Рециклинг на ПАО «НЛМК» [Электронный ресурс] URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-ekonomicheskie-aspekty-deyatelnosti-pao-nlmk/viewer (дата обращения: 09.04.2026).
7. Бижанов А.М., Курунов И.Ф., Дуров Н.М. и др. Исследование механической прочности брэкса. Часть 1 // Металлург. 2012. № 7. С. 32–35.

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПРОСТЫХ ФОРМ

Ким В.В., студент 4 курса бакалавриата
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Ивановская О.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

В современном машиностроении и приборостроении особое внимание уделяется снижению себестоимости производства, повышению коэффициента использования материала (КИМ) и минимизации отходов. Одним из наиболее перспективных направлений является порошковая металлургия, позволяющая получать детали сложной формы с высокой точностью и минимальными затратами на дальнейшую обработку [1,2]. Особенно актуально это для массового производства деталей, таких как втулки, шестерни, подшипники и другие элементы машин.

Оценка экономической целесообразности изготовления изделий простых и сложных форм методами порошковой металлургии в основном отражает их серийность [3]. В случае изготовления изделий особо сложной формы рентабельность производства дополнительно определяется затратами на изготовление деталей пресс-форм, которые возрастают по мере усложнения формы порошковых изделий, необходимостью применения специальных прессов, например прессов с боковым давлением и т. п., повышенными затратами на механическую обработку.

Для прессования крупных деталей необходимо применять более мощные прессы, которые снижают производительность, т.к. являются тихоходными.

Методами порошковой металлургии можно получать готовые изделия без механической обработки отклонением перпендикулярно к направлению прессования в пределах от 0,025 до 0,130 мм на длине 25 мм.

Более жесткие отклонения могут быть получены с помощью специальных методов порошковой металлургии – повторного прессования (калибрования) после спекания или динамического горячего прессования, горячей штамповки.

Порошковые материалы, используемые для изготовления изделий конструкционного назначения, могут быть разделены на две группы:

1) для изготовления изделий в целях замены обычных углеродистых и легированных сталей, чугунов, некоторых цветных металлов и сплавов и

2) материалы со специальными свойствами, получить которые можно только при производстве изделий методами порошковой металлургии.

Наиболее характерными деталями первой группы являются шатуны, шестерни, храповики, кулачки, ригеля, накидные и специальные гайки, рычаги и многие другие, которые выпускаются промышленностью методами литья и механической обработки. Изготовление деталей этой группы рентабельно только при массовом производстве одинаковых изделий, так как изготовление пресс-форм, установка их на пресс и отладка процесса прессования – длительная и дорогостоящая операция [4].

Основные составляющие себестоимости:

1. Стоимость материала (произведение стоимости металлического порошка за грамм, объема детали, плотности материала). Коэффициент использования материала 98%. Включаются смазочные материалы и легирующие добавки.
2. Себестоимость пресс-формы (цена изготовления, обслуживание и замена).
3. Затраты на процесс прессования (затраты на оборудование, энергию и рабочую силу)
4. Спекание (учет защитно-восстановительной атмосферы, энергии).

5. Последующая обработка (термообработка, отпуск, погружение в масло, шлифовка)

6. Административные и вспомогательные расходы (доля от прямых производственных затрат).

Таблица 1 – Показатели при расчете себестоимости изделий

Показатель	Обработка резанием	Порошковая металлургия
Стоимость сырья	Высокая (из-за отходов)	Ниже (высокий КИМ, переработка)
Трудозатраты	Высокие (механическая обработка)	Ниже (минимум обработки)
Энергозатраты	Высокие (много операций)	Ниже (прессование и спекание)
Стоимость оборудования	Ниже	Выше (прессовое, печи)
Себестоимость единицы продукции	Выше	Ниже при серийности > пороговой

Полученные значения себестоимости изделия «Втулка» (рис. 1), изготовленной методом порошковой металлургии и традиционным методом из прутка для разных серий выпуска представлены в табл. 2.

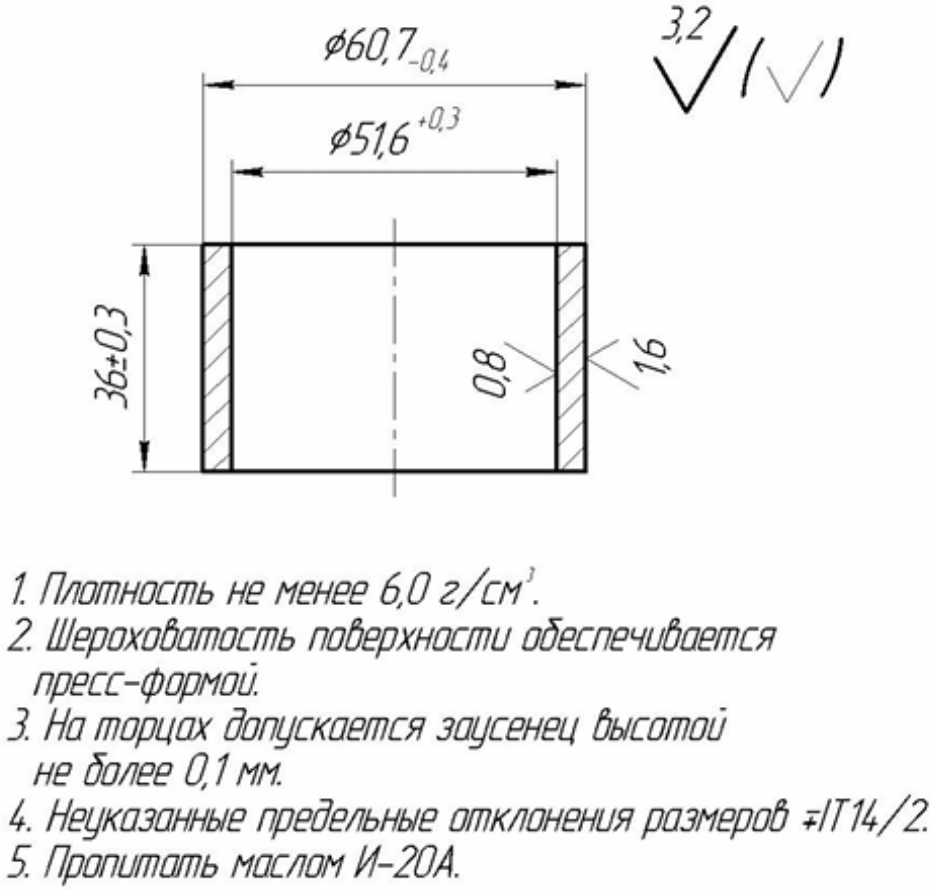


Рис. 1 – чертеж детали «Втулка»

Потери на стружку при точении прутка из стали 40Х составили 40% [5].

При расчете учитывалась стоимость железного порошка ПК40 770 руб./кг [6].

Таблица 2 – Себестоимость деталей, изготовленных резанием и методом порошковой металлургии при разных сериях выпуска [7]

Шт. / Деталь	Резание			Порошковая металлургия		
	200	1000	50000	200	1000	50000
Втулка	320–350	270–300	**250–270**	200–250	200–230	**100–150**

ВЫВОД

Изложены принципы отбора изделий для изготовления методами порошковой металлургии и представлена оценка экономической целесообразности их применения при разных сериях выпуска.

На основании основных составляющих себестоимости изготовления изделий методом порошковой металлургии можно сделать вывод, что если производительность прессования в зависимости от типа пресса (пресс-автомат, механический, гидравлический прессы) составляет от 150–200 до 2000 и более прессовок в час, то на смену инструмента (пресс-формы) и его наладку затрачивается от 1–2 до 20–30 ч, то изготовление изделий простой формы методами порошковой металлургии целесообразно при серии 10 000–50 000 штук.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Промышленная технология горячего прессования порошковых изделий // Ю.Г. Дорофеев, Б.Г. Гасанов, В.Ю. Дорофеев и др.; Металлургия, 1990. – 206 с.

2 Арзамасов, Б.Н. Материаловедение: Учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Акарова, Г.Г. Мухин. – М.: Изд-во МГТУ, 2001. – 189 с.

3 Ковалев, Я.Т. Технологические процессы производства изделий методом порошковой металлургии / Я.Т Ковалев, Ю.В Левинский. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2003 г. – 350 с.

4 Макаров, Б.М. Инженерная наука и технологии изготовления деталей методами порошковой металлургии / Б.М. Макаров. – М.: Изд-во Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, 2006 г. – 416 с.

5 Технология обработки материалов: учебное пособие для вузов / ответственный редактор В. Б. Лившиц. – М.: Изд-во Юрайт, 2025. - 446 с.

6 https://ochv.ru/poroshki-metallicheskiye

7 Доможирова, Н.Н. Формирование цен на продукцию металлургических предприятий / Н.Н. Доможирова, А.А. Балашов, Н.Р. Кельчевская. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 130 с.

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА ЗА СЧЁТ СНИЖЕНИЯ ПРОСТОЕВ

Клейменов А.А., студент 2 курса магистратуры
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Малахова О.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

В условиях современного электросталеплавильного производства необходимо повышать технико-экономические показатели [1] производства стали, в том числе за счёт снижения простоев различных видов. Уменьшение времени простоев приведёт к увеличению годовой производительности электросталеплавильного цеха, снижению удельного расхода электроэнергии, уменьшению себестоимости1 т электростали и, в общем, к повышению конкурентоспособности продукции. Специалисты отмечают влияние простоев не только на технические и экономические показатели, а также на морально-психологический климат в коллективе, его демотивацию.

Для решения этой задачи необходим постоянный мониторинг длительности простоев основного оборудования (дуговой сталеплавильной печи), анализ причин их возникновения и эффективных решений по снижению длительности простоев или устранению, для некоторых видов простоев, выявление узких мест. Необходимо выбрать приоритетные направления по снижению простое по оценке их влияния на процесс выпуска стали, то есть по прогнозу прироста производства [1-5].

Под простоем понимается состояние, в котором объект не может функционировать по какой-либо причине. В общем, выделяют три вида простоев: плановые, внеплановые и вынужденные. При плановых простоях производят техническое обслуживание и ремонт оборудования, его периодические проверки и переналадки. Вынужденные простои связаны с внешними обстоятельствами, на которые в рамках текущего производства невозможно повлиять (перебои с электроснабжением, поставкой энергоресурсов, сырья, комплектующих и, в том числе, отсутствие заказов). таким образом, необходимо сосредоточиться на снижении длительности внеплановых простоев.

Внеплановые простои в большинстве случаем вызваны поломкой оборудования, аварийными ситуациями, затягиванием ремонтных работ, а также весь связаны с организационными вопросами. Технические внеплановые простои являются результатом неисправностей, поломок, замены рабочих узлов или оборудования в целом. Внеплановый тип простоя является особенно критичным. Он приводит к экстренной остановке оборудования, зачастую вызывая существенные экономические потери и снижая прибыль предприятия.

Различные методы на основе анализа собранных цеховых данных об отказах оборудования позволяют выявить причины и закономерности их возникновения. Такие методы характеризуются незначительными трудозатратами по сбору и обработке собранных данных. Принципиальным является глубокое понимание технологической цепочки и особенностей используемого в цехе оборудования. Такой анализ должны выполнять высококвалифицированные специалисты [5].

Рассмотрим выявление причин простоев для современного электросталеплавильного цеха, оборудованного высокомощными дуговыми сталеплавильными печами, оснащенного оборудованием для внепечной обработки стали и ее непрерывной разливки.

В настоящее время сбор и обработка данных о простоях ДСП происходят ручным методом. При этом, специалисты собирают следующую информацию:

-время простоя в минутах,

-количество произведенных плавок на момент простоя,

-величину потери производства в тоннах по выплавке стали,

-значение отклонения от планового выпуска продукции в тоннах,

-причину времени простоя,

- службу, которая причастна к времени простоя.

На основе собранных данных строится диаграмма в виде графиков.

Анализ таких актуальных данных показал, что при работе электросталеплавильного цеха имелись стабильные (ежемесячные) потери, обусловленные преимущественно механическими и технологическими сбоями, а также влияние внешних факторов. Для повышения производительности цеха требуется комплексный подход. Необходимо профилактическое обслуживание оборудования, оптимизация технологических процессов, улучшение взаимодействия со службами и подразделениями.

Для выявления приоритетных направлений по снижению времени простоев необходимо сгруппировать и суммировать количество простоев и потери производства за определенный временной период (квартал, полугодие, год). Необходима группировка по службам, связанным с определённым видом простоев: механическая (механики), энергетическая (энергетики), электрическая (электрики), технологическая (технологи), управление автоматизации и прочие.

Анализ полученных данных позволил выявить (рис. 1), что:

- наибольшее количество простоев связано с работой технологов, механиков и независящих от электросталеплавильного цеха причин;

- максимальные потери времени вызваны внешними факторами;

-значительные потери времени связаны с работой технологов и механиков;

- несмотря на относительно небольшое количество простоев по независящим от плавильного цеха причинам, именно они привели к значительным потерям продукции.

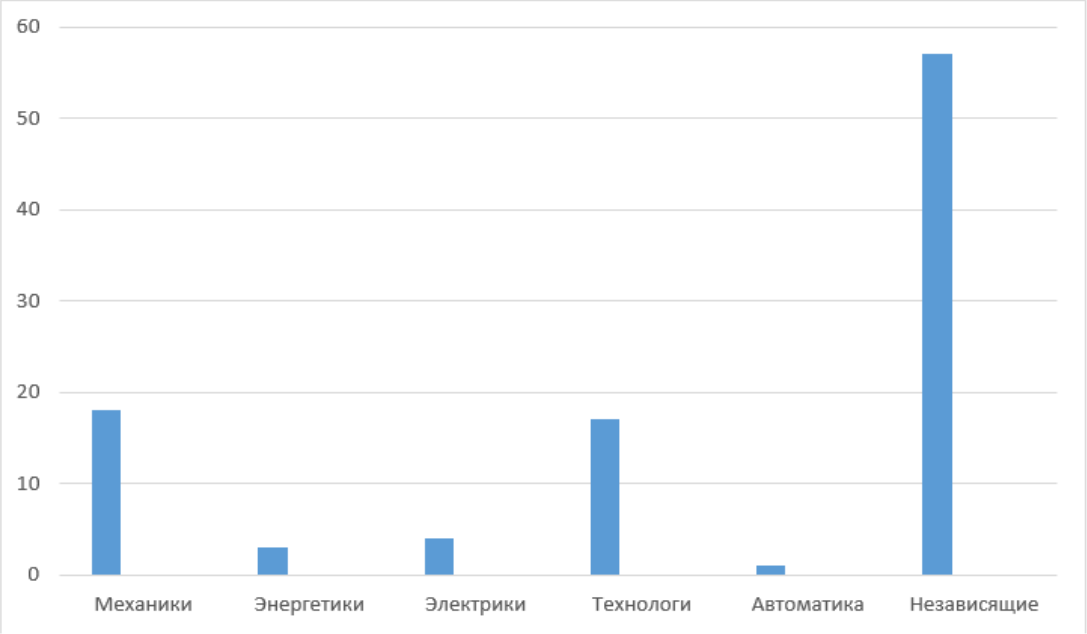


Рис. 1 – Потери продукции вследствие простоев

Таким образом, на основе анализа сформулированы рекомендации по уменьшению времени простоев и увеличению производительности цеха:

- приоритетное внимание уделить причинам простоев по технологической и механической службам;

- продолжить анализ и выявление путей снижения простоев по независящим от плавильного цеха простоев;

- продолжать более детальный сбор информации по каждой службе для выявления и устранения узких мест;

-внедрить мониторинг и оперативное реагирование на простои для снижения их длительности и связанных с этих потерь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стомахин, А. Я. Основные достижения и пути дальнейшего повышения технического уровня электросталеплавильного производства / А. Я. Стомахин, Д. Г. Еланский, Г. Н. Еланский // Черные металлы. – 2009. – № 4. – С. 12-16. – EDN KXLNMP.
2. Особенности электроплавки железорудных металлизованных окатышей в дуговой сталеплавильной печи. Меркер Э.Э., Крахт Л.Н., Малахова О.И., Кожухов А.А., Черменев Е.А., Казарцев В.О., Степанов В.А. Электрометаллургия. 2017. № 3. С. 2-7.
3. Дюдкин, Д. А. Современная технология производства стали / Д.А. Дюдкин, В.В. Кисиленко. - М: Теплотехник, 2007. - 528 с.
4. Теплоэнергетические особенности электроплавки железорудных металлизованных окатышей в дуговой сталеплавильной печи. Меркер Э.Э., Малахова О.И., Крахт Л.Н., Казарцев В.О. Сталь. 2017. № 3. С. 22-26.
5. Малахова, О. И. Разработка комплекса мероприятий по снижению межплавочных простоев в электросталеплавильных цехах / О. И. Малахова, А. А. Клейменов // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы двадцать первой Всероссийской научно-практической конференции, Старый Оскол, 29 ноября 2024 года. – Старый Оскол: Национальный исследовательский технологический университет "МИСИС", 2024. – С. 91-94. – EDN NSMDCO.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ МЕЖПЛАВОЧНЫХ ПРОСТОЕВ В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ЦЕХАХ

Клейменов А.А., студент 2 курса магистратуры
Научный руководитель - доцент, к.т.н., **Малахова О.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

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

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

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

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

Таблица 1 – Анализ первичных данных

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

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

Рис. 2 – Причины наиболее частых простоев

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

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

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

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

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

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

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

ВОДОРОД В МЕТАЛЛУРГИИ: ПРОБЛЕМА КАЧЕСТВА СТАЛИ И РЕСУРС НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кочергина И.Н., аспирант 1 курса
Научный руководитель – д.т.н., профессор **Кожухов А.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Современное сталелитейное производство сталкивается с жёсткими требованиями к качеству металла, особенно в таких отраслях, как автомобильная, нефтегазовая и аэрокосмическая, а также в конструкционной инженерии. Одним из ключевых факторов, влияющих на механические свойства стали, является содержание в ней водорода. Диффузионная способность и проницаемость водорода являются важными аспектами, которые необходимо учитывать в процессе обработки стали. Формирование микроструктурных фаз в стали (феррита, перлита, мартенсита) находится под влиянием содержания водорода, который может выступать как катализатором, так и ингибитором фазовых превращений – в зависимости от легирующего состава и условий термомеханической обработки. Стоит отметить, что водород выступает одним из существенных критериев, определяющих классификацию сталей, особенно в сегменте сверхпрочных и специальных сплавов, где его влияние на физико-химические и механические свойства материала приобретает принципиальное значение.

Водород может поступать в сталь на различных этапах производства: на этапе выплавки (при взаимодействии с печными газами, влажными шихтовыми материалами; с загрязнённым маслом ломом, когда масло разлагается при высоких температурах), при внепечной обработке (контакт с влажными шлакообразующими смесями, известью, лигатурами), при разливке (проникновение из атмосферы, влажных огнеупоров или при утечке охлаждающей воды), при термической и поверхностной обработке (диффузия водорода из электролитов или кислотных растворов).

Концентрация водорода в стали обычно измеряется в частях на миллион (1ppm $=10^{-4}$ % = 1,12 см^3/100г) и строго регламентируется стандартами (ASTM E1447, ISO 7539) для критически важных применений [1,2]. Водород растворяется в железе и его сплавах в атомарной форме, образуя растворы внедрения, что обусловлено малыми размерами атома водорода и его способностью занимать междоузлия кристаллической решётки металла, тем самым вызывая так называемую «водородную хрупкость». Согласно закону Сивертса, который описывает растворимость двухатомных газов в металлах и сплавах, растворимость водорода в жидком железе выражается зависимостью [3]:

$$[\mathrm{H}] = \mathrm{K_H}\sqrt{\mathrm{P_{H_2}}}, \quad (1)$$

где $\mathrm{K_H}$ – константа растворимости, зависящая от температуры; $\mathrm{P_{H_2}}$ – парциальное давление водорода.

Анализ установленной зависимости (1) позволяет сформулировать некоторые ключевые закономерности. При снижении температуры жидкого железа наблюдается равномерное уменьшение растворимости водорода, что обусловлено термодинамическими особенностями взаимодействия водорода с металлической матрицей, и описывается уравнением:

$$\lg[\mathrm{H}]_{Fe} = \left(-\frac{1750}{T} - 1{,}677\right) \quad (2)$$

Тем не менее, при фазовом переходе от жидкого к твёрдому состоянию (в точке кристаллизации) наблюдается скачкообразное снижение растворимости водорода. Это вызывает интенсивное выделение водорода из твёрдого раствора в процессе кристаллизации стали. Если концентрация водорода в стали при кристаллизации остаётся выше предела растворимости в твёрдом металле, то в структуре металла формируются дефекты,

возникающие в результате миграции водорода к областям с повышенными напряжениями и структурными неоднородностями (неметаллическим включениям, границам зёрен, скоплениям дислокаций). В этих зонах атомарный водород рекомбинирует в молекулы (H_2), создавая локальное давление, превышающее предел прочности материала. Это приводит к зарождению и росту микропустот, которые развиваются в микротрещины, снижающие пластичность и несущую способность стали.

Следовательно, для большинства марок стали водород является вредной примесью, а его концентрация выступает одним из ключевых факторов, определяющих качество целого ряда легированных сталей. Типичные пороговые значения концентраций водорода для различных классов стали представлены в таблице 1 [4].

Таблица 1 – Типичные пороговые значения концентраций водорода в стали

Класс стали	Содержание водорода	Основная цель контроля	Ключевые эффекты
Конструкционная сталь	1÷10 ppm	Минимизация хрупкости	Повышение ударной вязкости и пластичности
Высокопрочные низколегированные (HSLA)	0,5÷5 ppm	Поддержание прочности и вязкости	Снижение риска водородной хрупкости
Трубопроводные стали	< 1 ppm	Обеспечение безопасности и долговечности	Улучшенная сопротивляемость стресс-коррозионному растрескиванию
Аэрокосмическая сталь	< 0,5 ppm	Максимизация ресурса усталости	Превзойдённая ударная вязкость

На современном этапе развития металлургии разработан и внедрён ряд эффективных методов рафинирования стали от водорода, позволяющих существенно снизить его остаточное содержание в расплаве. Согласно актуальным данным, для дегазации стали и снижения концентрации растворённого водорода применяются следующие методы рафинирования:

1. Вакуумная обработка, позволяющая значительно снизить парциальное давление водорода над расплавом, тем самым обеспечивая высокий эффект по удалению газа из металла.
2. Продувка инертными газами (аргоном, азотом), основанная на принципе дегазации всплывающими пузырями газа, когда эффективность зависит от интенсивности продувки и размера пузырьков [5].
3. Обработка синтетическими шлаками. На этом этапе в ковш заливают специальный шлак (до 55 % CaO, 40 % Al_2O_3, минимальное содержание FeO). В образующейся металлошлаковой эмульсии реакции рафинирования проходят быстротечно, при этом снижается содержание серы, повышается чистота по неметаллическим включениям, попутно удаляется часть водорода.
4. Электромагнитное перемешивание расплава. В данном случае при воздействии бегущего магнитного поля возникают конвективные потоки в расплаве, которые ускоряют диффузию водорода к поверхности и его выделение. Часто используется в комбинации с другими методами.
5. Контролируемое охлаждение с регулируемой скоростью отвода тепла, что позволяет управлять кинетикой выделения газов, минимизируя образование пористости и флокенов.

Помимо удаления водорода, современные технологии позволяют использовать его как инструмент рафинирования и восстановления железа.

Основные направления использования водорода [6]:

1. Восстановление железа из оксидов. Водород выступает сильным восстановителем, взаимодействуя с оксидами железа с образованием воды и чистого металла.
2. Производство металлизованных окатышей и горячебрикетированного железа (HBI). Водородное восстановление позволяет получать высококачественное сырьё для электродуговых печей с содержанием железа 90÷95 %.
3. Получение металлических порошков. Водород используется для восстановления порошков железа, вольфрама, молибдена, титана и других металлов. Такой продукт применяется в порошковой металлургии для изготовления деталей сложной формы, спечённых изделий, а также для функциональных покрытий.
4. Восстановление тугоплавких металлов. Водородные технологии в металлургии являются ключевым методом получения вольфрама, молибдена, тантала, востребованных в электронике, авиационной и космической промышленности, а также в производстве высокотемпературных сплавов.
5. Рафинирование металлов. В данном случае водород может использоваться для удаления примесей (кислорода, серы) за счёт образования летучих соединений (H_2O, H_2S), удаляемых из расплава.
6. Гидрометаллургические процессы. В сочетании с электролизом водород участвует в гидрометаллургическом извлечении металлов из растворов, особенно для цветных и редких металлов.

К преимуществам водородных технологий стоит отнести экологичность, выражающейся в снижении выбросов CO_2, высокую чистоту продуктов, содержащих минимальное количество примесей в металлах и славах, возможность адаптации под разные типы сырья (руда, окатыши, отходы), а также энергоэффективность в результате снижения затрат на энергоносители при использовании возобновляемой энергии. Однако такого рода технологии сопряжены с достаточно серьёзными вызовами и ограничениями, такими как: большие капитальные затраты на оборудование для работы с водородом, высокие требования к чистоте водорода, энергозатраты на производство и транспортировку водорода, организация инфраструктуры для хранения, а также безопасность, так как водород является горючим и взрывоопасным газом.

Таким образом, строгий контроль содержания водорода в стали и применение современных методов дегазации критически важны для обеспечения требуемого качества металла в ответственных отраслях. Одновременно развитие водородных технологий открывает новые возможности для повышения экологичности и эффективности металлургического производства, хотя и требует значительных инвестиций и проработки вопросов безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ASTM E1447-2022. Standard Test Method for Determination of Hydrogen in Reactive Metals and Reactive Metal Alloys by Inert Gas Fusion with Detection by Thermal Conductivity or Infrared Spectrometry : Publication Date: 1 June 2022. Page Count: 7. URL : https://store.astm.org/e1447-22.html. – Текст : электронный.
2. DIN EN ISO 7539-9-2021. Corrosion of metals and alloys – Stress corrosion testing – Part 9: Preparation and use of pre-cracked specimens for tests under rising load or rising displacement (ISO 7539-9:2021); German version EN ISO 7539-9:2021 / Publication Date: 03.08.2021. Page Count: 39. URL : https://www.iso.org/standard/54369.html. – Текст : электронный.
3. Физико-химические расчеты электросталеплавильных процессов : учебное пособие для вузов по специальности «Металлургия черных металлов» / В. А. Григорян и [др]. – Москва : Металлургия, 1989. – 287 с. – Текст : непосредственный.

4. Водород в стали: роли, проблемы и металлургическое значение. – Текст : электронный / MetalZenith.com: [сайт]. – URL : https://metalzenith.com/ru/blogs/chemical-elements-compounds-terms/hydrogen-in-steel-roles-challenges-and-metallurgical-significance.

5. Развитие теории процесса удаления водорода из жидкой стали и научное обоснование ресурсосберегающего режима продувки инертным газом / П.С. Харлашин, Н.И. Захаров – Текст : непосредственный // Вестник Приазовского государственного технического университета. – 1999. – № 7. – С. 116-127.

6. Оценка условий внедрения водородных технологий в металлургии России / А.А. Галингер – Текст : непосредственный // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2023. – Том № 21, № 4. – С. 165-181.

КОРРЕЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБКАТЫВАНИЯ И МИКРОГЕОМЕТРИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Кудинов Е.А., студент 2 курса магистратуры
Майкова К.Ф., студентка 2 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент, **Скляр В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Введение

Современное прокатное производство требует повышенной надежности оборудования, особенно узлов, поддерживающих непрерывность технологического цикла. Важнейшей частью этого оборудования являются транспортные рольганги среднесортных станов, представляющие собой роликовые конвейеры для непрерывной транспортировки горячего проката вдоль производственной линии.

Условия эксплуатации транспортных рольгангов являются достаточно специфичными и обусловлены значительным количеством негативных факторов:

– ударные нагрузки при заходе проката на ролик;
– абразивное воздействие от окалины;
– адгезионное изнашивание в условиях трения скольжения и качения металл по металлу с угловой скоростью вращения роликов до 10,2 м/с;
– локальное термическое воздействие в диапазоне температур от 950 до 1050 °С
– в зоне контакта ролика с прокатом диаметром от 16 до 30 мм;
– коррозионное воздействие воды и пара в зонах работы установок гидросбива;
– воздействие химически активных веществ и т.д. [1, 2]

Ролики данного рольганга, изготавливаются из высококачественной легированной стали марки 30ХГСА ГОСТ 4543-2016.

Сталь данной марки обладает комплексом необходимых физико-механических свойств, включая высокую прочность, износостойкость и устойчивость к образованию дефектов, которые формируются в стали после ее термообработки. Однако, достижение оптимального сочетания этих характеристик требует тщательного контроля всех этапов производства, начиная от выбора сырья и заканчивая финишной обработкой рабочей поверхности роликов.

Преобладающий вид износа данных роликов проявляется в виде канавок радиусной формы глубиной до 10 мм, что соответствует диаметру транспортируемого проката.

В процессе эксплуатации на роликах образуются такие виды дефектов как задиры, выступы, вмятины, которые приводят к образованию дефектов на поверхности круглого горячекатаного проката.

Помимо образования указанных выше локальных дефектов, происходит износ рабочей поверхности, приводящий к уменьшению диаметра ролика, что является недопустимым для эксплуатации данных деталей.

Основная часть

Материалом образцов для проведения экспериментальных исследований являлся прокат из высококачественной легированной стали марки 30ХГСА ГОСТ 4543-2016 диаметром 60 мм и длиной 390 мм, поделенный на участки по 30 мм после механической обработки.

Материалом электрода для электроискрового легирования (ЭИЛт) являлся твёрдый сплав марки Т15К6 сечением 5х6 мм. Последующее электроискровое легирование производилось угольным электродом (ЭИЛу) диаметром 8 мм.

Применение твердосплавных электродов с последующим легированием различными материалами позволяет повысить эксплуатационные свойства формируемых многослойных

покрытий, эффективность последовательного формирования электроискровых покрытий подтверждается в работах авторов [3, 4].

Покрытия на образцах были сформированы установкой для механизированного электроискрового легирования на следующих режимах: напряжение: U = 20 В, ток: I = 200 А, мощность импульсного разряда: P = 4000 Вт, продолжительность импульса: τ = 400 мкс, энергия единичного разрядного импульса: E = 1,6 Дж, частота следования импульсов: f = 160 Гц, суммарная энергия за одну минуту обработки: $\sum E$ = 15,4 кДж/мин., частота вращения заготовки: n = 36 об/мин, подача: S_o = 0,063 мм/об, число проходов твердосплавным электродом: 4 раза, число проходов графитовым электродом: 2 раза. [5]

В качестве межэлектродной среды при механизированной электроискровой обработке использовался поток воздуха давлением 0,2 МПа.

Сформированные покрытия были обработаны методом поверхностного пластического деформирования (ППД) обкатыванием инструментом с подпружиненным шариком:

– диаметр обкатывающего шарика, мм: 7,114;
– материал шарика: сталь ШХ15 ГОСТ 3722-2014;
– усилия обкатывания, Н: 82, 123 и 163;
– погрешность усилия пружины, %: ± 6;
– количество проходов обкатывания, раз: 2, 4 и 6.

Формирование поверхностей на образцах производилось в следующей последовательности:

– предварительная механическая обработка резанием;
– электроискровое легирование твердосплавным электродом;
– электроискровое легирование угольным электродом;
– поверхностное пластическое деформирование обкатыванием.

Положительное влияние применения пластического поверхностного деформирования, как финишной обработки покрытий, сформированных методом электроискрового легирования, подтверждается в исследованиях [6, 7].

Микрогеометрия сформированных покрытий после каждой операции измерялась профилометром с диапазоном измерений 160 мкм. Оценка микрогеометрии производилась по следующим высотному и шаговому параметрам: полная высота профиля R_{max}, мкм, относительная опорная длина профиля, измеренная на уровне 40 %, %.

Измерение параметров микрогеометрии определялось средним арифметическим значением из трех проведенных измерений.

Основной задачей экспериментальных исследований являлось определение зависимости режимов ППД обкатыванием на микрогеометрию твердосплавного электроискрового покрытия.

Факторами и интервалами варьирования являлись усилие давления индентора (шарика) и количество проходов ППД обкатыванием (таблица 1).

Таблица 1 – Факторы, уровни и интервалы варьирования

№ п/п	Факторы	Уровни			Интервалы $\widetilde{J}$
		–1	0	+1	
1	$\widetilde{X_1}$ – усилие давления индентора (шарика), Н	82	123	163	40
2	$\widetilde{X_2}$ – количество проходов обкатывания, шт.	2	4	6	2

На основании результатов измерений комплексных параметров микрогеометрии электроискровых покрытий, сформированных твёрдосплавным и угольным электродами, были получены значения, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры микрогеометрий электроискровых покрытий

Состояние поверхности	Шероховатость R_{max}, мкм				Относительная опорная длина профиля поверхности, t_{40}, %			
	Изм. 1	Изм. 2	Изм. 3	Ср. зн.	Изм. 1	Изм. 2	Изм. 3	Ср. зн.
Исходная	14,663	12,654	9,712	12,343	24,21	19,01	32,21	25,14
После ЭИЛт	57,283	64,145	58,393	59,941	30,767	25,55	30,42	28,91
После ЭИЛу	50,975	56,170	56,840	54,662	35,644	44,37	37,69	39,23

На основании полученных значений параметров микрогеометрии поверхностей, очевидно следующее:

– после точения шероховатость и относительная опорная длина профиля поверхностей минимальны и равны соответственно 12,343 мкм и 25,14 %;

– после ЭИЛ твердосплавным электродом резко возрастала шероховатость поверхности по параметру R_{max} до значения 59,941 мкм, а относительная опорная длина профиля поверхности увеличивалась до значения 28,91 %;

– после ЭИЛ угольным электродом шероховатость поверхности по параметру R_{max} составляла 54,661 мкм, относительная опорная длина профиля продолжала линейно возрастать, до значения 39,23 %.

График изменения параметров микрогеометрии поверхностей после каждой технологической операции до обкатывания представлен на рис. 1.

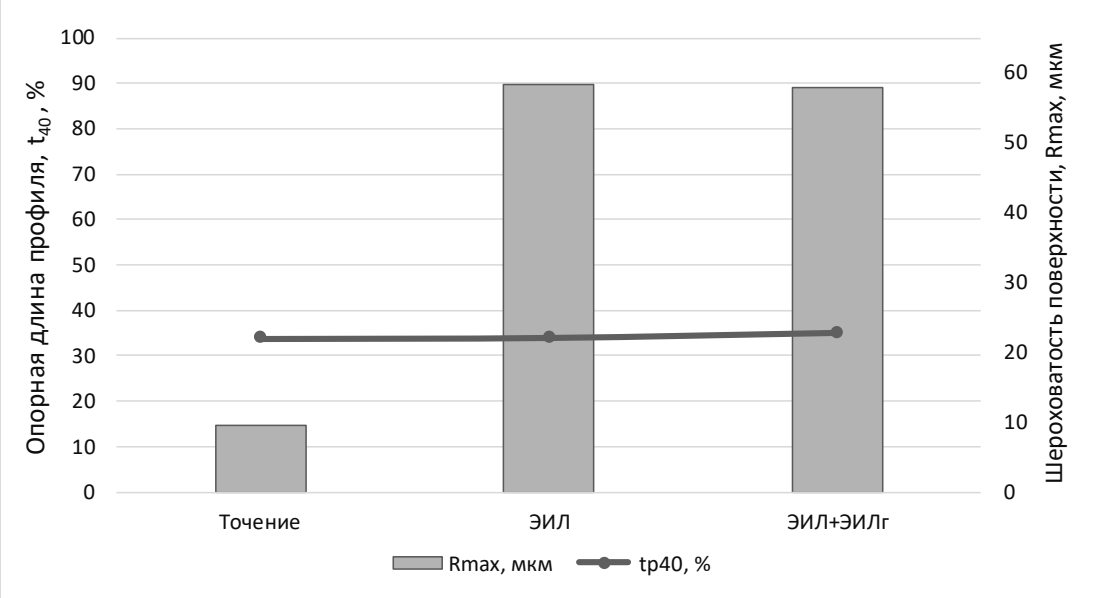


Рис. 1 – Зависимость микрогеометрии поверхности от вида обработки

Из графика очевидно, что относительная опорная длина профиля поверхности увеличивалась при последующем электроискровом легировании твердосплавным и угольным электродами.

Электроискровое легирование твердосплавным электродом значительно увеличивало шероховатость поверхности, при этом также увеличивалась относительная опорная длина профиля поверхности, что соответствует полученным ранее экспериментальным данным [8- 10].

Дальнейшая обработка ЭИЛ покрытий угольным электродом снижала шероховатость поверхности при одновременном увеличении параметра относительной опорной длины профиля поверхности.

Данное явлением может является следствием того, что при обработке угольным электродом происходило оплавление вершин микронеровностей твердосплавного электроискрового покрытия.

Исходными параметрами микрогеометрии поверхности перед ППД обкатыванием были:

– полная высота профиля R_{max} = 54,661 мкм;

– относительная опорная длина профиля, измеренная на уровне 40% = 39,23 %.

Результаты измерения комплексных параметров микрогеометрии поверхностей электроискровых покрытий твердосплавным и угольным электродами после обкатывания сформированных покрытий представлены в графическом виде.

На рис. 2 представлена диаграмма зависимости относительной опорной длины профиля поверхности на уровне измерения 40% (t_{40}) от усилия обкатывания.

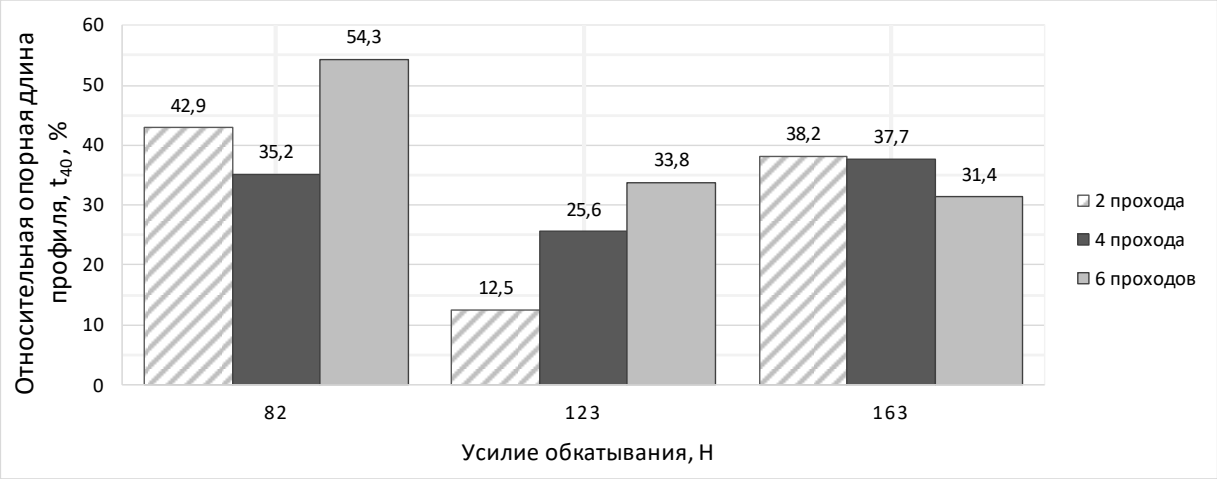


Рис. 2 – Зависимость относительной опорной длины профиля поверхности от усилия обкатывания

При усилии обкатывания 82 Н влияние на относительную опорную длину профиля поверхности максимально при четырех проходах, при двух и шести проходах значительного увеличения данного параметра не наблюдается. Для усилия 123 Н влияние количества проходов на величину относительной опорной длины профиля поверхности незначительно. При усилии обкатывания 163 Н значения относительной опорной длины профиля поверхности увеличиваются в сравнении со значениями усилия 123 Н для всех проходов.

При обкатывании поверхности за два прохода наибольшее значение относительной опорной длины профиля поверхности достигалось при усилии 163 Н. Для усилия обкатывания 82 Н и 123 Н этот показатель практически идентичен.

При обкатывании поверхности за четыре прохода влияние усилия обкатывания на значение относительной опорной длины профиля поверхности неоднозначно, например, для усилий 82 Н и 163 Н данный параметр не изменялся, в отличии от усилия 123 Н, где значение относительной опорной длины профиля поверхности меньше на ≈ 16%.

При обкатывании поверхности за шесть проходов, влияние усилия обкатывания на значение относительной опорной длины профиля поверхности также изменялось неоднозначно, для 82 Н и 123 Н не изменялось, в отличии от значения при усилии обкатывания 163 Н, где значение данного параметра больше на ≈ 8%.

Величина параметра относительной опорной длины профиля поверхности при усилии обкатывания 163 Н оставалась максимальным значением и практически не изменялась в зависимости от количества проходов обкатывания.

На рис. 3 представлена диаграмма зависимости шероховатости поверхности по параметру R_{max} от усилия обкатывания при одинаковом значении количества проходов.

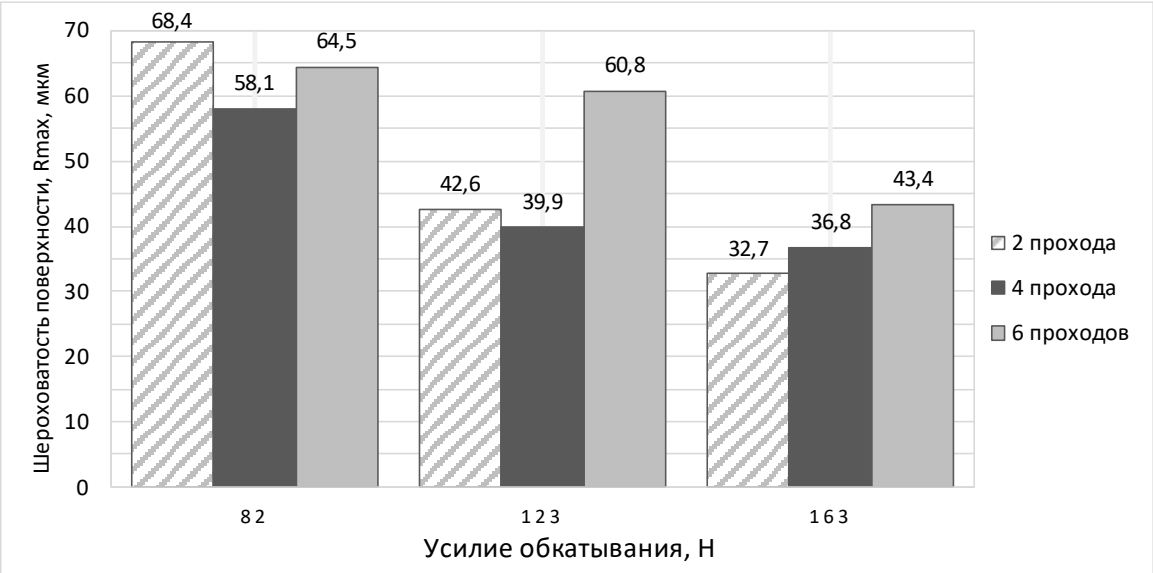


Рис. 3 – Зависимость шероховатости поверхности от усилия обкатывания

При обкатывании поверхностей за два прохода минимальное значение шероховатости по параметру R_{max} равное 36,9 мкм, достигалось за шесть проходов обкатывания. Поверхности, полученные за два и четыре прохода, имели близкие значения шероховатости поверхности, большие на 10,9 мкм и 6,8 мкм, соответственно, по сравнению с шестью проходами.

При обкатывании поверхности за четыре прохода значение шероховатости поверхности по параметру R_{max} при усилии обкатывания 82 Н и 123 Н снижались на 2,5 мкм и 3,7 мкм, соответственно, а при усилии обкатывания 163 Н значение параметра шероховатости по параметру R_{max} увеличилось до значения 43,8 мкм.

При обкатывании поверхности за шесть проходов значение шероховатости поверхности по параметру R_{max} при усилии 82 Н принимало минимальные значения и составляло 31,7 мкм, при усилии 123 Н также снижалось и составляло 34,6 мкм, а значения при усилии 163 Н сопоставимы со значениями, полученным при двух проходах обкатывания с этим же усилием.

При усилии обкатывания 82 Н максимальное значение шероховатости по параметру R_{max} получено при двух проходах составило 47,8 мкм, шероховатость поверхности, полученная за четыре прохода, составила 45,3 мкм. Самое низкое значение шероховатости равное 31,7 мкм. наблюдалось для шести проходов обкатывания.

Распределение значений шероховатости поверхности, при усилии обкатывания 123 Н имеет схожий характер. Максимальное значение равное 43,7 мкм было получено при двух проходах обкатывания, а минимальное, равное 34,6 мкм, достигалось на поверхности, полученной за шесть проходов обкатывания.

При усилии обкатывания 163 Н значение шероховатости снизилось до значения 36,9 мкм для двух проходов, при четырех проходах шероховатость поверхности наоборот увеличивалась и составила 43,8 мкм, при шести проходах значение шероховатости составило 37,1 мкм.

Согласно исследованиям [11] по формированию твердосплавных электроискровых покрытий последующее легирование угольным электродом оплавляет вершины микронеровности уже сформированных покрытий, что увеличивает относительную опорную длину профиля поверхности с одновременным незначительным уменьшением шероховатости. Незначительное снижение шероховатости коррелируется с тем, что шероховатость после точения имеет меньшее значение, а относительная опорная длина профиля поверхности увеличивается.

Кроме того, результаты экспериментов авторов [12] подтверждают положительное влияние графита на процесс пластического поверхностно деформирования, выступающего в нем в роли твердой смазке.

Анализ полученных зависимостей показывает, что при усилии обкатывания 163 Н количество проходов не оказывает значительного влияния на величину относительной опорной длины профиля поверхности и значение высоты микронеровности шероховатости. Такое явлением может объясняться тем, что при обкатывании твердосплавного электроискрового покрытия в зоне контакта с шариком происходит скалывание или смятие вершин профиля микрогеометрии как отдельно, так и совместно.

Уменьшение шероховатости поверхности после обкатывания для усилий обкатывания 82 Н и 123 Н при увеличении количества проходов объясняется тем, что данного усилия недостаточно для разрушения вершин микронеровностей на первом проходе. Повторные проходы обкатывания приводят к накоплению внутренних остаточных напряжений, что в последствии приводит к разрушению вершин микронеровностей при последующих проходах.

Данный механизм, может быть свойственен для всех твердосплавных покрытий, схожих химическому составу и физико-механическим свойствам, что потребует дальнейших расширенных исследований в данном направлении.

Заключение

В результате выполненных экспериментальных исследований по поверхностному пластическому деформированию обкатыванием твердосплавных электроискровых покрытий с последующим легированием угольным электродом были получены следующие результаты:

– последующее электроискровое легирование угольным электродом сформированного твердосплавного электроискрового покрытия позволяет увеличить относительную опорную длину профиля на 35 % и снизить шероховатость поверхности по параметру R_{max} на 9 %;

– поверхностное пластическое деформирование обкатыванием сформированных твердосплавных электроискровых покрытий позволяет увеличить относительную опорную длину профиля в 1,8 раза и снизить шероховатость поверхности по параметру R_{max} в 1,7 раза.

– при усилии более 123 Н и проходах более четырех, дефекты от прижогов электрода на поверхности электроискровых покрытий не наблюдаются.

На основании результатов исследования был разработан технологический процесс упрочнения роликов рольганга, включающий в себя последовательность формирования покрытий с рациональными режимами механизированного электроискрового легирования твердосплавным электродом, с последующим легированием угольным электродом и поверхностным пластическим деформированием обкатыванием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расчет температурных полей и термических напряжений в толстостенном цилиндре при импульсном подводе теплоты / П.В. Жуков // Вестник ИГЭУ. 2013. №3.

2. О динамической нагруженности тяжелых машин при соударении смежных звеньев / Д.С. Лисюк, О.Ю. Талимонова, С.И. Трубачев // ВЕЖПТ. 2014. №7 (67).

3. Cao, G., Wang, Y. & Tang, G. Properties of NiCrAlY coatings fabricated on superalloy GH4169 by electrospark deposition. Int J Adv Manuf Technol 96, 1787-1793 (2018). https://doi.org/10.1007/s00170-017-1162-8

4. Belyakov, A.V., Gorbachev, A.N. & Dereta, M. Electric Spark Coating Formation during Repair and Manufacture of Power Equipment Elements. Power Technol Eng 57, 593–598 (2023). https://doi.org/10.1007/s10749-024-01705-1

5. Перспективы применения электроискрового легирования на рабочих поверхностях деталей тележек локомотивов / А.А. Жулдыбин, А.А. Владимиров, А.И. Шаповалов // Транспортное машиностроение. – 2025. – № 9(45). – С. 28-37. – DOI 10.30987/2782-5957-2025-9-28-37.

6. Выглаживание электроискровых покрытий / Д. Д. Якуба, К. П. Еремина, С. Н. Химухин, В. М. Давыдов // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2022. – № 13. – С. 141-143. – DOI 10.26160/2309-8864-2022-13-141-143.

7. Анализ эффективности методов электроискрового легирования для повышения износостойкости деталей машин / К.Н. Григорьев, Г.И. Андреев // Инженерия и технология. 2023. № 1. С. 78-85.

8. Новые возможности метода электроискрового легирования для продления срока службы режущего инструмента / А.М. Парамонов, А.В. Коваль // ЭОМ. 2008. №2.

9. Zhang Ruizhu, Li Jingrui, Yan Dakao, Zhao Yuanyuan, Mechanical Properties of WC-8Co Wear-Resistant Coating on Pump Impellers Surface by Electro- Spark,Rare Metal Materials and Engineering,Volume 44, Issue 7,2015, Pages 1587-1590.

10. Barile, C.; Casavola, C.; Pappalettera, G.; Renna, G. Advancements in Electrospark Deposition (ESD) Technique: A Short Review. Coatings 2022, 12, 1536. https://doi.org/10.3390/coatings12101536

11. Применение электроискровой обработки при ремонте механического оборудования / В.А. Коротков // Вестник машиностроения, 2018. – № 1.

12. Применение графита в электроискровых технологиях / А.И. Михайлюк, А.Е. Гитлевич // ЭОМ. 2010. №5

ВЛИЯНИЕ ГИДРОКСИДА НАТРИЯ НА ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ БЕНТОНИТА

Лихтина Е.Ю., Шевцова Л.А., магистранты 1 курса
Научный руководитель - к.т.н, профессор **Тимофеева А.С.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Бентонитовые глины имеют широкое и разнообразное применение в различных отраслях промышленности от легкой и пищевой промышленности до металлургического производства. Именно поэтому к ним вызван интерес со стороны многих исследователей. На основании изученных данных химико-минералогического состава и физико-химических свойств было выявлено, что глины это горные породы в основном осадочного происхождения с различным химическим составом [1]. В металлургии при производстве окатышей бентонитовые глины являются неотъемлемой частью, а их физико-химические свойства играют ключевую роль при получении окатышей высокого качества. Однако современные исследования показали, что можно повысить активность бентонита. В данной статье рассмотрено улучшение водопоглощающей способности бентонита посредством добавления щелочного раствора гидроксида натрия (NaOH).

Окатыши являются идеальным методом окускования железа, который выгоден как с точки зрения экономии времени так и с экономической точки зрения.

Железорудный концентрат тонкого помола при добавлении определенного количества воды неплохо комкуется и даже могут образоваться сырые окатыши, однако при высушивании имею очень слабую механическую прочность [2]. Именно поэтому для придания прочности окатышам добавляют различные связующие вещества. За все время развития металлургии не нашли лучшего связующего вещества чем бентонитовые глины. Основные качества необходимые бентониту для получения качественных окатышей является набухаемость или способность поглощать воду и способность разжижаться.

Разновидность бентонитов в природе достаточно широка и разнообразна, они отличаются друг от друга не только химико-минералогическим составом, физико-химическими свойствами, внешним видом, но и водопоглощающей способностью. В природе встречаются две разновидности – щелочной (аскангель) и щелочноземельный (асканглина).

Щелочные бентониты во влажном состоянии очень пластичные, при смачивании образуют пастообразную, мягкую массу, суббентониты представляют собой плотную твердую массу сравнимую с камнем, в воде рассыпаются, не образуя пастообразную массу или устойчивую суспензию [1]. Одной из важных особенностей бентонита является его дисперсность, чем выше в диффузном слое обменных катионов щелочных металлов, чаще всего натрия, тем выше его дисперсность. В качественных щелочных бентонитах, где количество тонкодисперсных частиц более 90% содержится наибольшее количество обменного натрия, именно поэтому в воде они имеют высокую дисперсность. Связь между молекулами воды и мелкими частицами бентонита позволяет удержать их во взвешенном состоянии продолжительное время. В щелочноземельных бентонитах напротив в диффузном слое преобладают малогидратированные обменные катионы кальция и магния, которые прочно связанны между собой и в водной среде распадаются на крупные частицы, которые не способны держаться долгое время во взвешенном состоянии имеют низкую дисперсность.

Еще одной из важнейших способностей бентонитов является набухаемость или водопоглощение. Способность бентонитов поглощать воду и значительно увеличиваться в объеме свыше 15-20 раз от первоначального размера. Вода по капиллярам проникает к первичным частицам бентонита и образует вокруг них водные оболочки. Вследствие этого происходит удаление частиц друг от друга и сильное увеличение общего объема глины.

Применение щелочных растворов для активации бентонитов в России мало изучены, поэтому нами были рассмотрены статьи зарубежных авторов. Были проведены исследования

добавки гидроксида натрия для улучшения свойств водопоглощения бентонита [3,4]. Так же была описана методика проведения данного исследования. Были взяты 4 разных состава NaOH,бентонит, вода. Для минимизации ошибок были взяты 4 временных цикла (1, 2, 4 и 24 часа) в конце каждого цикла были проведены замеры количества воды, поглощённой бентонитом, и оценивалось влияние добавки на поглощение воды. На рисунке 1 показана динамика изменений водопоглощения в течение временных циклов 1, 2, 4 и 24 часа. Как видно из рисунка 1, количество поглощенной воды бентонитом за первый час составляет чуть более 350%, и после первого часа процент поглощения воды увеличивается с кривой малиметрического наклона. Это указывает на то, что в первый час бентонит сохраняет в своей волокнистой структуре около 78% влаги, которую он поглощает за 24 часа.

На рисунке 1 показана динамика водополглощения бентонита в зависимости от времени.

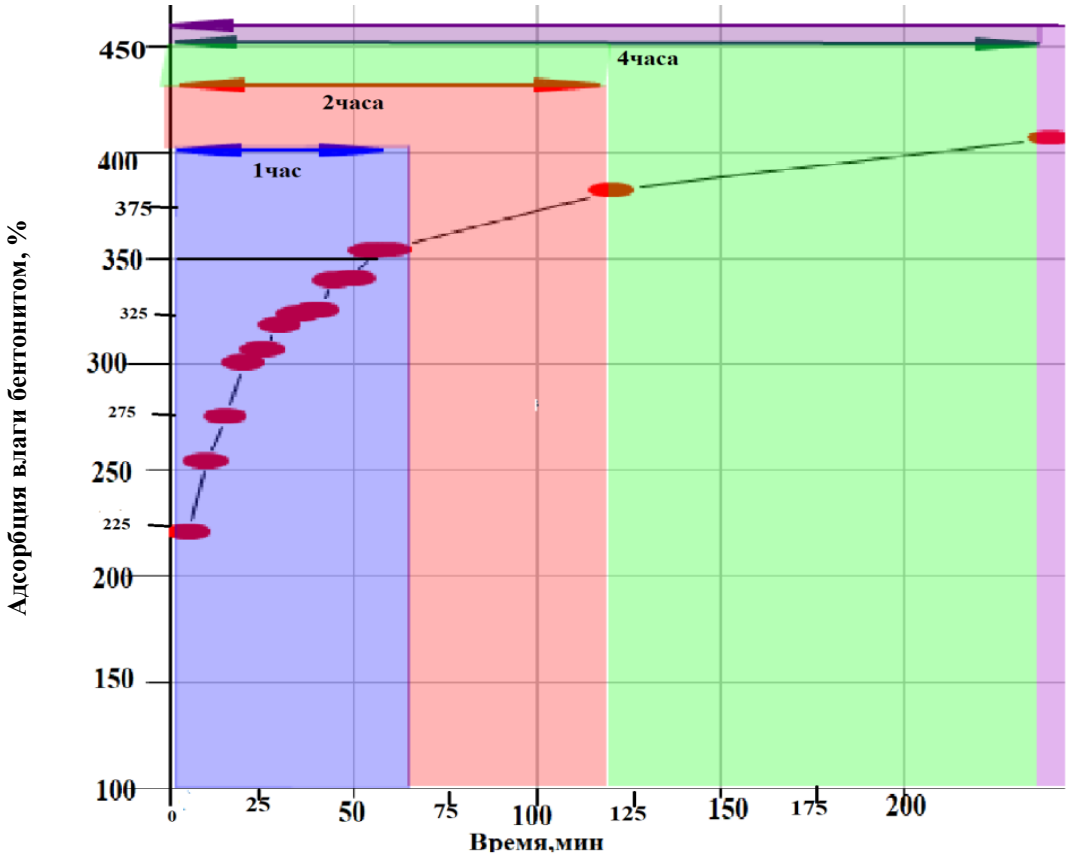


Рис. 1 – Изменение водопоглощения бентонита с течением времени.

Если сравнивать водопоглощение по времени, то самый результативный вариант – это первый час. Тогда, применяя активацию бентонита едким натром, можно получить достаточно качественные окатыши, так как получение окатышей и начальный этап термообработки попадают в этот промежуток времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М. С. Мерабишвили «Бентонитовые глины» Кавказский Научно-Исследовательский Институт Минерального Сырья (КИМС) Министерства Геологии и Охраны Недр СССР – 129 с.

2. Тимофеева А.С., Никитченко Т.В., Тимофеев Е.С. «Экстракция черных металлов из природного и техногенного сырья»: учебное пособие / А.С. Тимофеева, Т.В., Никитченко, Е.С.Тимофеев – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 304 с.

3. Саиди А., Шаманян М., Барати М., Азари К. (2004). Гиперактивация бентонита в процессе гранулирования. Международный журнал иранского общества черной металлургии, 7 (1), 38-41.

4. Rosario, J. A., Silva, L. A., Moura, G. B. G., Gusatti, M., Lima, R. B., Brys, M. E., ... & Riella, H. G. (2010). Влияние щелочной активации на набухание и катионообменную способность бентонитов. В журнале Materials Science Forum (том 660, стр. 1064-1069). Trans Tech Publications Ltd.

ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ВБЛИЗИ КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИБОРА EMF – TESTER ELECTROMAGNETIC FIELD

Помельников А.А., Новиков А.А., Горголюк Д.Д., студенты
Научные руководители - доцент, к.т.н., **Сазонов А.В.,**
старший преподаватель **Лукьянов И.Е.,** старший преподаватель, **Сурков В.П.**
[1]*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)*
[2]*Губкинский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (ГФ НИТУ «МИСИС»)*

Курская магнитная аномалия (КМА) — один из крупнейших железорудных бассейнов мира, характеризующийся значительными отклонениями геомагнитного поля от нормальных значений. Изучение магнитного поля в этом регионе имеет важное научное и практическое значение для: геофизических исследований; разведки полезных ископаемых; оценки влияния аномалий на навигационные системы; мониторинга экологической обстановки. Цель работы — провести измерения магнитного поля Земли вблизи КМА с помощью прибора EMF−Tester и проанализировать пространственное распределение его напряжённости. Задачи исследования: изучить теоретические основы геомагнитного поля и особенности КМА; провести серию измерений в различных точках вблизи КМА; сопоставить полученные данные с эталонными значениями для данной широты; выявить закономерности и аномалии распределения магнитного поля; сформулировать выводы и рекомендации по результатам исследования.

Природа Курской магнитной аномалии КМА обусловлена огромными залежами железных руд (магнетита), обладающих высокой магнитной восприимчивостью. Эти породы создают локальные искажения геомагнитного поля, превышающие нормальные значения на десятки и сотни процентов.

Основные измеряемые параметры: напряжённость магнитного поля (H, мкТл); магнитное склонение (D, градусы); магнитное наклонение (I, градусы). Нормальное значение напряжённости для широты КМА ($\approx 51^\circ$ с. ш.) составляет около 48 мкТл. В зоне аномалии значения могут достигать 80–100 мкТл и более.

Факторы, влияющие на измерения геологическое строение (залежи магнетита); техногенные источники (ЛЭП, промышленные объекты); суточные вариации геомагнитного поля; магнитные бури и солнечная активность.

Методика измерений:

Прибор: EMF−Tester Electromagnetic Field — портативный измеритель электромагнитного поля с диапазоном измерений 0,1–200 мкТл и погрешностью ±5%. Порядок проведения измерений: Калибровка прибора перед каждым замером. Выбор точек измерений с учётом: расстояния от центра КМА; геологических карт (наличие рудных залежей); техногенных объектов. Проведение серии из 10 замеров в каждой точке с интервалом 30 секунд. Фиксация среднего значения и стандартного отклонения. Запись координат, времени и условий измерений. Точки измерений: точка 1: центр КМА (максимальная аномалия); точка 2: 20 км от центра; точка 3: 50 км от центра; точка 4: 100 км от центра (фоновая зона); точка 5: городская зона вблизи КМА (учёт техногенных помех).

Результаты измерений:

Таблица 1 – Напряжённость магнитного поля вблизи КМА

Точка	Расстояние от центра КМА, км.	Координаты.	Среднее значение напряжённости, мкТл	Стандартное отклонение, мкТл	Особенности локации
1	0	51,8° с. ш., 37,6° в. д.	92,4	6,2	Центр КМА, рудные залежи.
2	20	51,9° с. ш., 37,3° в. д.	68,7	3,5	Окраина аномалии.
3	50	52,0° с. ш., 36,8° в. д.	54,2	2,1	Переходная зона.
4	100	52,5° с. ш., 35,5° в. д.	47,8	1,3	Фоновая зона.
5	30 (городская зона)	51,7° с. ш., 37,5° в. д.	72,5	8,4	Город, ЛЭП, транспорт.

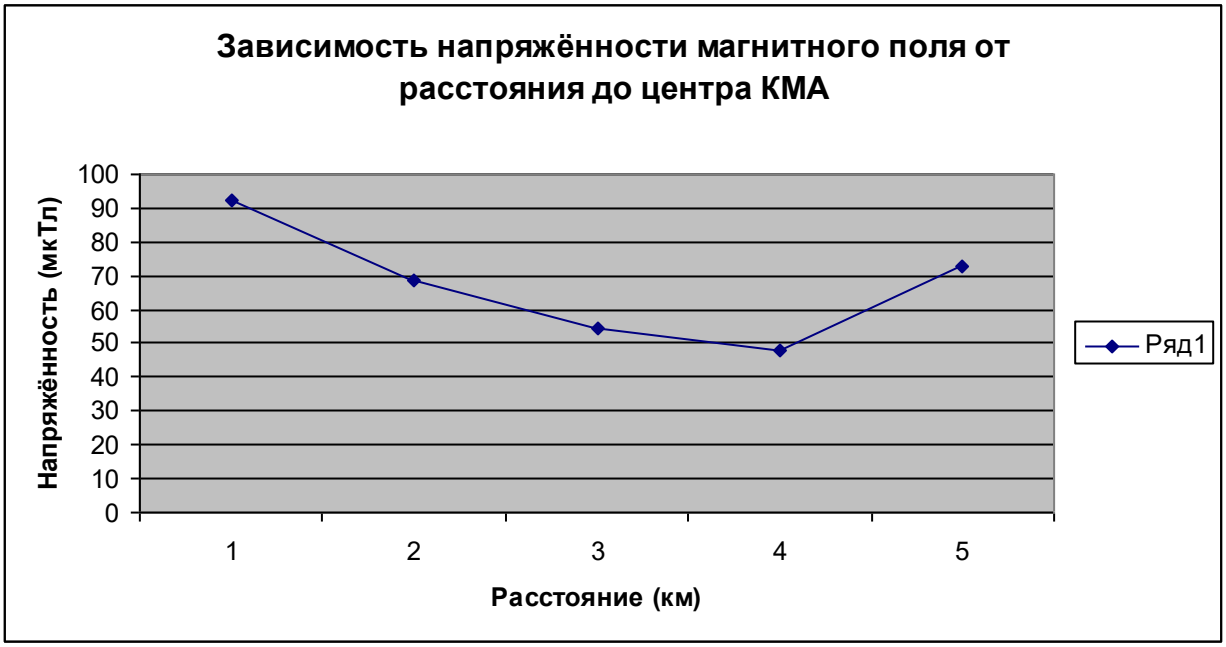


Рис. 1 – График 1

График демонстрирует резкое снижение напряжённости от центра аномалии к периферии. В точке 1 зафиксировано превышение над фоновым значением на 93%. В городской зоне (точка 5) наблюдается дополнительный рост из‑за техногенных помех.

Рис. 2 – График 2

Распределение стандартного отклонения по точкам (График показывает, что наибольшая вариабельность данных наблюдается в центре КМА и в городской зоне, что связано с неоднородностью геологических структур и техногенными факторами.)

Анализ результатов:

Аномалия в центре КМА: в точке 1 напряжённость (92,4 мкТл) почти вдвое превышает фоновое значение (47,8 мкТл), что подтверждает сильное влияние железорудных залежей. Постепенное снижение: от центра к периферии напряжённость уменьшается по экспоненциальному закону. На расстоянии 100 км значения приближаются к нормальным. Техногенные помехи: в городской зоне (точка 5) напряжённость выше ожидаемой для данного расстояния из−за электромагнитных полей от ЛЭП и транспорта. Стандартное отклонение здесь максимально (8,4 мкТл). Точность измерений: прибор EMF−Tester показал достаточную чувствительность для фиксации аномалий. Погрешность в фоновой зоне минимальна (1,3 мкТл).

Выводы:

Измерения с помощью EMF−Tester подтвердили наличие сильной магнитной аномалии в районе КМА. Напряжённость поля в центре аномалии (92,4 мкТл) на 93% превышает фоновые значения. Пространственное распределение напряжённости соответствует теоретическим моделям: резкое снижение от центра к периферии с выходом на фоновые значения на расстоянии 100 км. Техногенные факторы (городская зона) могут искажать результаты измерений, увеличивая как среднее значение, так и разброс данных. Прибор EMF−Tester пригоден для мониторинга геомагнитного поля в полевых условиях, но требует учёта внешних помех и калибровки.

Рекомендации:

Для повышения точности измерений проводить их в разное время суток и при разной геомагнитной обстановке; использовать дополнительные методы (магнитометрическая съёмка) для верификации данных; учитывать влияние техногенных источников при выборе точек измерений.

Перспективы:

Дальнейшее исследование может включать: долгосрочный мониторинг магнитного поля в ключевых точках; сравнение с данными спутниковых наблюдений; построение детальной карты аномалий КМА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Милановский Е.Е. Геология России и ближнего зарубежья. — М.: МГУ, 1996.
2. Магницкий В.А. (ред.). Общая геофизика. — М.: МГУ, 1995. Трухин В.И.,
3. Максимочкин В.И. Геомагнетизм и методы геомагнитных исследований. — М., 2009.
4. Геологическая карта Курской магнитной аномалии. — М.: Недра, 1985.
5. Руководство по эксплуатации EMF−Tester Electromagnetic Field. — Производитель, 2023.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОДАЧИ ПРИ КОВКЕ НА ФОРМИРУЕМУЮ ГЕОМЕТРИЮ ПОКОВКИ

Наврузбоев Х.Г., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент, **Скляр В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Ковка - один из древнейших способов обработки металлов давлением, который и сегодня остаётся востребованным в промышленности. Этот процесс подразумевает пластическую деформацию металлической заготовки под воздействием ударных или статических нагрузок с целью получения изделия заданной формы и размеров — поковки [1]. Ковка позволяет улучшить механические свойства материала: повысить прочность, ударную вязкость, устранить внутренние дефекты структуры [2].

Ключевым параметром технологического процесса ковки выступает подача — величина продольного перемещения заготовки между ударами инструмента (бойков). Подачу обычно измеряют в миллиметрах и рассчитывают как долю от ширины бойка или поперечного размера заготовки [3]. Грамотный выбор величины подачи критически важен для обеспечения равномерности деформации, минимизации энергозатрат и достижения требуемой геометрии поковки.

Величина подачи напрямую влияет на уширение поковки — увеличение её поперечных размеров в направлении, перпендикулярном подаче [4]. При малой подаче в сочетании со значительной шириной бойков происходит интенсивное уширение: металл «расползается» в стороны, поскольку условия для продольного течения ограничены. Это способно привести к отклонению формы поковки от заданных параметров, неравномерности деформации по сечению и необходимости дополнительных переходов для коррекции геометрии. В свою очередь, большая подача снижает долю поперечной деформации — металл преимущественно удлиняется вдоль оси заготовки. Однако чрезмерное увеличение подачи тоже несёт риски: может возникнуть недостаточная проработка структуры в центральной зоне, появиться зажимы (завороты) на боковых поверхностях и снизиться качество поверхности поковки [5].

Таким образом, оптимизация величины подачи представляет собой поиск баланса между продольным удлинением и поперечным уширением, который обеспечит требуемую геометрию поковки при минимальных энергозатратах и отсутствии дефектов [6].

Цель исследования состоит в том, чтобы изучить влияние величины подачи на формируемую геометрию поковки, включая параметры уширения при ковке, а также выявить оптимальные диапазоны этого параметра для протяжки.

Для проведения эксперимента были изготовлены слоистые пластилиновые модели, внешний вид которых представлен на рис. 1.

Рис. 1 – Внешний вид образцов до обжатия

Фотография образца после обжатия приведена на рис. 2.

Рис. 2 – Образец № 4 после обжатия

Коэффициент полезного действия процесса ковки зависит от того, сколько процентов от высотного обжатия идет в вытяжку. Соответственно для большей эффективности процесса необходимо чтобы уширение было минимальным.

Рассмотрим зависимости среднего относительного уширения от величины подачи, представленные на рис. 3.

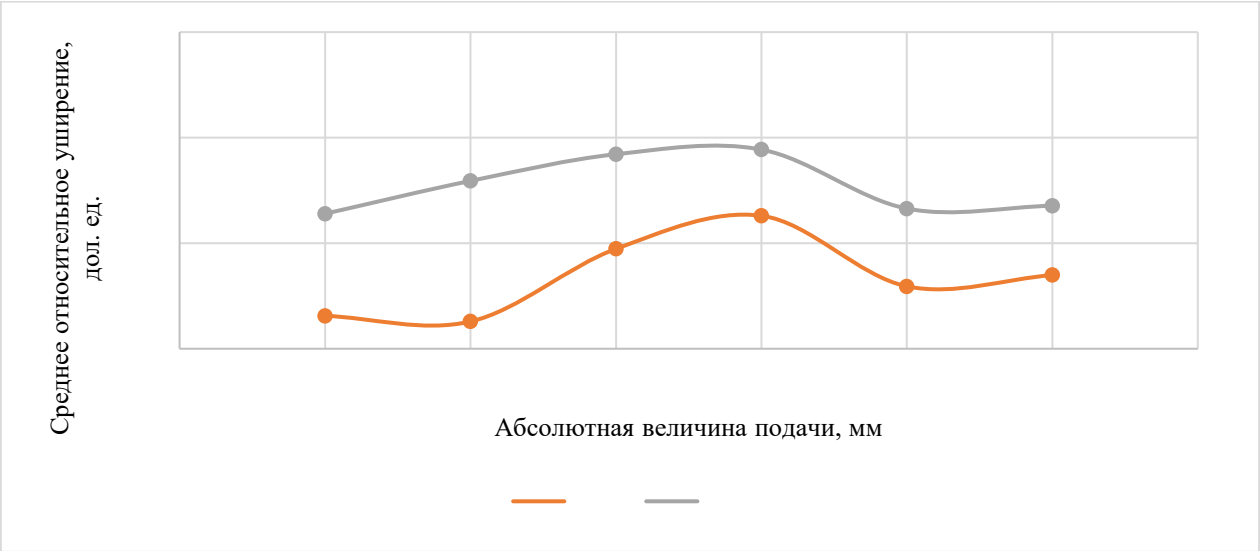


Рис. 3 – Зависимость среднего относительного уширения от абсолютной величины подачи

Из зависимости видно, что минимальное уширение наблюдается при минимальной подаче (L) и при подачах близких к максимальной. При этом минимальные подачи сильно уменьшают производительность молота, поэтому предпочтение следует отдать большим величинам подачи. При этом наибольшее среднее уширение наблюдается при средних величинах подачи в исследованном диапазоне.

Более универсальным следует считать использование не абсолютной величины подачи от параметра $L/h_{0ср}$. На рис. 4 приведена зависимость среднего относительного уширения от параметра $L/h_{0ср}$ при степени обжатия 30 %. Из зависимости видно, что минимальное среднее относительное уширение наблюдается при $L/h_{0ср}$ = 0,2…0,4 и при $L/h_{0ср}$ = 0,9. При этом минимальные подачи сильно уменьшают производительность молота, поэтому предпочтение следует отдать большим величинам подачи ($L/h_{0ср}$ = 0,9). При этом наибольшее среднее уширение наблюдается при $L/h_{0ср}$ = 0,7.

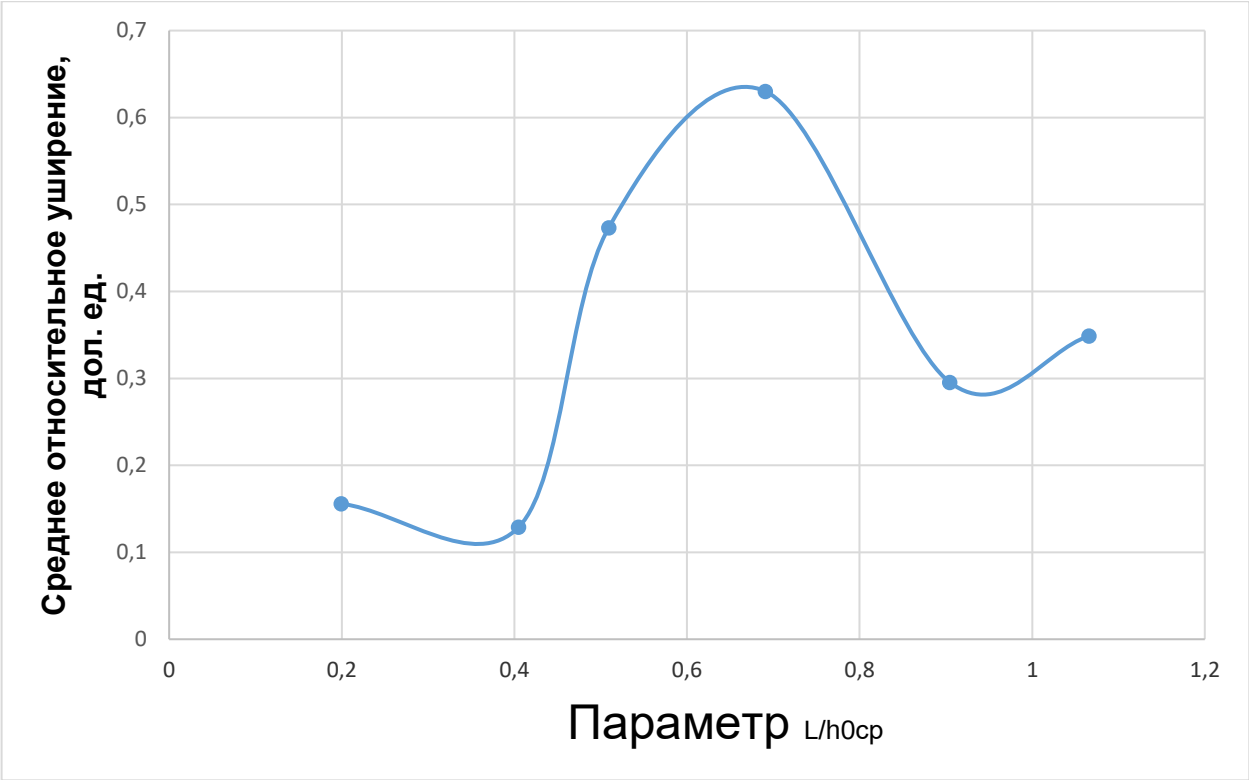


Рис. 4 – Зависимость среднего относительного уширения от параметра $L/h_{0ср}$ (ε = 30 %)

На рис. 5 приведена зависимость среднего относительного уширения от параметра $L/h_{0ср}$ при степени обжатия 50 %. Из зависимости видно, что минимальное среднее относительное уширение наблюдается при $L/h_{0ср}$ = 0,2 и при $L/h_{0ср}$ = 1,1. При этом минимальные подачи сильно уменьшают производительность молота, поэтому предпочтение следует отдать большим величинам подачи ($L/h_{0ср}$ = 1,1). При этом наибольшее среднее уширение наблюдается при $L/h_{0ср}$ = 0,7.

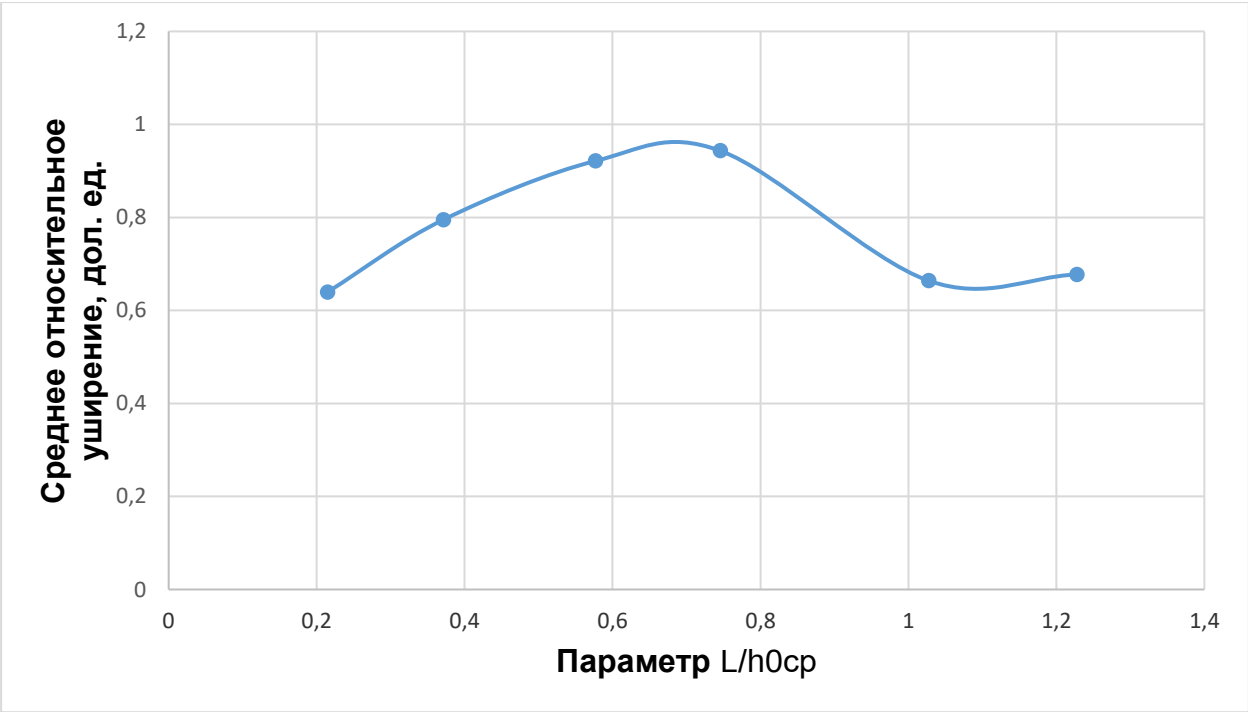


Рис. 5 – Зависимость среднего относительного уширения от параметра $L/h_{0ср}$ (ε = 50 %)

Также следует обратить внимание на максимальную величину уширения, поскольку именно она отвечает за равномерность деформации и формоизменение. Для большей равномерности деформации необходимо чтобы максимальное уширение было наименьшим.

Заключение

В результате проведённых экспериментальных исследований установлено, что минимальное среднее относительное уширение наблюдается при $L/h_{0ср}$ = 0,2…0,4 и при $L/h_{0ср}$ = 0,9…1,1. При этом минимальные подачи сильно уменьшают производительность молота, поэтому предпочтение следует отдать большим величинам подачи ($L/h_{0ср}$ = 0,9…1,1). При этом наибольшее среднее уширение наблюдается при $L/h_{0ср}$ = 0,7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковка и штамповка: справочник : справочник : в 4 томах / А. Ю. Аверкиев, Д. И. Бережковский, Э. Ф. Богданов, Ю. С. Вильчинский ; под редакцией Е. И. Семенова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Машиностроение, [б. г.]. — Том 1 : Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка — 2010. — 717 с.
2. Должиков, В. П. Разработка технологических процессов механообработки в мелкосерийном производстве : учебное пособие / В. П. Должиков. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 328 с.
3. Константинов, И. Л. Кузнечно-штамповочное производство : учебник / И.Л. Константинов, С.Б. Сидельников. — 2-е изд. — Москва : ИНФРА-М ; Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2023. — 464 с.
4. Кузнечно-штамповочное производство : учебное пособие / С. Б. Сидельников, И. Л. Константинов, Ю. В. Горохов [и др.]. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. - 224 с.
5. Константинов, И. Л. Технология ковки : учебник / И. Л. Константинов, С. Б. Сидельников. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2020. - 216 с.
6. Афанасьев, А. А. Технология конструкционных материалов : учебник / А. А. Афанасьев, А. А. Погонин. — 2-е изд., стер. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 656 с.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ТЕПЛООБМЕННЫМ ПРОЦЕССАМ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Парталюк С.В., студент 1 курса магистратуры
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Тимофеева А.С.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В современной черной металлургии производство железорудных окатышей является одним из наиболее энергоемких и технологически сложных этапов подготовки сырья к доменной плавке. Ключевым фактором, определяющим качество готовой продукции и технико-экономические показатели работы обжиговых агрегатов, является организация рационального теплового режима. Тепловая обработка окатышей в плотном слое включает последовательные процессы подогрева, сушки, обжига и охлаждения, каждый из которых характеризуется специфическими механизмами тепло- и массопереноса.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью глубокого понимания физики процессов, протекающих внутри слоя и отдельной гранулы, для предотвращения таких дефектов, как термическое разрушение и недостаточное упрочнение. Управление температурными полями и скоростями нагрева позволяет не только гарантировать механическую прочность окатышей, но и оптимизировать расход топлива на горелочных устройствах.

Процессы теплообмена в плотном слое дискретных материалов являются базой для моделирования работы обжиговых машин. Плотный слой образуется гранулами, имеющими различные теплофизические свойства, а сложный характер движения теплоносителя (газа) через зазоры между ними делает неразделимыми процессы теплопроводности, излучения и конвекции.

Согласно теории Б. И. Китаева, нагрев материалов в шахтных установках и на конвейерных машинах рассматривается через призму теплопередачи в элементарном слое [1]. Основным уравнением, описывающим изменение теплосодержания (энтальпии) шихты, является:

$$a_v(t_г - t_ш) \cdot sdx = M_ш C_ш dt_ш = W_ш dt_ш \quad (1)$$

где a_v, - объемный коэффициент теплоотдачи Вт/(м³·К);
$t_г$ – температура газа, °С;
$t_ш$ – температура шихты, °С;
s – площадь поперечного сечения слоя, м²;
dx – элементарная толщина слоя, м;
$M_ш$ – масса шихты, кг;
$C_ш$ – удельная теплоёмкость шихты, Дж/(кг·К);
$W_ш = M_ш C_ш$ – теплоёмкость шихты, Дж/К.

Количество тепла, которое газ отдает при прохождении через тонкий слой шихты, равно количеству тепла, которое эта шихта поглощает. Левая часть ($a_v(t_г-t_ш)\cdot sdx$) показывает интенсивность передачи тепла. Она зависит от разности температур между газом и материалом ($t_г-t_ш$) и того, насколько эффективно поверхность материала может принимать это тепло. Правая часть ($m_ш c_ш dt_ш$) показывает, насколько в результате этого нагревается сама шихта. Это произведение массы материала на его теплоемкость и на изменение температуры.

Важно отметить, что объемный коэффициент теплоотдачи a_v представляет собой произведение поверхностного коэффициента теплоотдачи a и удельной поверхности материала в слое F:

$$a_v = a \cdot F \quad (2)$$

В отличие от нагрева одиночного предмета, в слое окатышей важно не только то, как быстро тепло переходит от газа к поверхности (коэффициент a), но и то, насколько велика общая площадь поверхности всех окатышей в этом объеме (F). Простыми словами: чем мельче окатыши (больше площадь поверхности F), тем быстрее и эффективнее весь слой будет забирать тепло у газа.

При моделировании теплообмена решающее значение имеет соотношение потоков газа ($W_г$) и шихты ($W_ш$) [1]. Для большинства зон обжиговой машины характерно условие $W_ш > W_г$, что предопределяет интенсивный нагрев верхних горизонтов слоя и постепенное продвижение фронта температур вниз по высоте. Математическое описание распределения температуры шихты $t_ш$ по высоте слоя выражается зависимостью:

$$t_ш = t_г^{нач}\left(1 - \exp\left(-\frac{a_v s}{W_ш}\left(1 - \frac{W_ш}{W_г}\right)x\right)\right) \quad (3)$$

Предварительный подогрев концентрата перед окомкованием до температуры 30–50°С позволяет существенно стабилизировать процесс, уменьшая вероятность конденсации влаги в нижних слоях (переувлажнение), что критически важно для сохранения газопроницаемости слоя.

Сушка – наиболее ответственный этап термической обработки, на котором закладывается структурная целостность окатыша [2]. Окатыш представляет собой капиллярно-пористое тело, в котором влага удерживается силами поверхностного натяжения и адсорбции.

Главная теплотехническая проблема сушки заключается в разнице коэффициентов теплопроводности материалов. Теплопроводность магнетитового концентрата составляет 15–18 Вт/(м·К), в то время как теплопроводность воды – всего 0,60 Вт/(м·К). Это приводит к тому, что при контакте с горячим теплоносителем в первую очередь прогревается твердый минеральный каркас (стенки капилляров).

Когда температура стенок достигает точки кипения, начинается интенсивное парообразование внутри пор. Формируется градиент давления пара, направленный от центра к периферии гранулы. Если скорость подвода тепла избыточна, давление пара внутри поры может превысить механическую прочность сырого окатыша, что приведет к его разрушению («шоковый» эффект).

Критическим параметром, регулирующим этот процесс, является порозность слоя (ε), которая для железорудных окатышей варьируется в пределах 0,30–0,35. Порозность определяет величину аэродинамического сопротивления и свободный объем для эвакуации паров.

Расчет необходимого количества тепла на сушку в элементарном объеме производится по балансовому уравнению:

$$Q = \alpha F(t_г - t_ш)\tau = \Delta m_в r + m_ш c_ш \Delta t_ш, \quad (4)$$

где r – удельная теплота парообразования;

$\Delta m_в$ – масса удаляемой влаги.

Подведенное тепло (Q) за время (t) расходуется одновременно на две задачи: испарение влаги ($\Delta m_в r$) и нагрев твердого каркаса окатыша ($m_ш c_ш \Delta t_ш$). Теплопроводность концентрата выше, чем у воды. Если мы подадим слишком много тепла (Q), стенки капилляров прогреются мгновенно, вода внутри превратится в пар и избыточным давлением разорвет окатыш еще до начала обжига.

Применение «нулевой» вакуум-камеры на обжиговых машинах позволяет инициировать мягкую сушку при умеренных температурах, подготавливая структуру к интенсивному нагреву в последующих зонах.

После удаления влаги окатыши поступают в зону подогрева, а затем – в зону обжига, где температуры достигают 1200–1360 °C [3]. На этом этапе происходят глубокие структурные превращения, обеспечивающие перевод гранулы из состояния агрегата частиц в монолитное тело.

Выделяют два основных механизма спекания:

1. Твердофазное спекание. Характерно для начальных стадий нагрева (выше 800–900 °C). За счет диффузионных процессов в точках контакта зерен образуются межчастичные «перешейки». При обжиге неофлюсованных окатышей из гематитовых концентратов твердофазное спекание является доминирующим, однако оно не всегда обеспечивает требуемую прочность для современных доменных печей.
2. Жидкофазное спекание (формирование жидкостной связки). Это наиболее эффективный механизм упрочнения. При достижении температур 1200–1250 °C компоненты шихты (в первую очередь примеси пустой породы и флюсующие добавки, такие как известь) начинают плавиться, образуя железисто-силикатный расплав.

Жидкостная связка обладает способностью стягивать частицы концентрата под действием капиллярных сил, заполнять микропоры и трещины [4-5]. В офлюсованных окатышах взаимодействие гематита с CaO приводит к образованию ферритов кальция, которые значительно повышают прочностные характеристики. Оптимальное количество SiO_2 (3–4%) способствует формированию достаточного объема расплава. При недостатке жидкой фазы окатыши остаются пористыми и хрупкими, а при избытке – происходит их оплавление и сваривание в монолитный блок (спек), что недопустимо.

Нормативная прочность окатышей (1500–2500 Н на окатыш) достигается при выдержке в зоне обжига в течение 20–25 минут. Регулирование времени обработки осуществляется изменением скорости движения тележек обжиговой машины.

Эффективность теплообмена в слое напрямую связана с контролем температур в вакуум-камерах [6]. Важным индикатором завершенности процесса является температура в конце зоны рекуперации, которая должна поддерживаться в диапазоне 400–550 °C.

При отклонении параметров (например, повышении влажности сырых окатышей) необходимо немедленное вмешательство:

- Снижение скорости движения ленты для увеличения времени пребывания в зонах сушки и подогрева.
- Корректировка расхода топлива на горелках зоны обжига.
- Снижение нагрузки по сырью для восстановления температурного равновесия.

Для предотвращения образования микротрещин из-за термических напряжений необходимо соблюдать градиент нагрева не более 150–200 °C в минуту в критических температурных интервалах [7]. Оптимизация аэродинамического режима (давления под колосниковой решеткой) позволяет обеспечить равномерный просос газа по всей ширине паллеты, исключая «холодные» края.

Комплексный подход к процессам тепловой обработки железорудных окатышей показывает, что их качество является результатом сложного взаимодействия теплотехнических и физико-химических факторов.

1. Применение математического аппарата Б. И. Китаева позволяет с высокой точностью прогнозировать температурные поля в слое, учитывая объемный коэффициент теплоотдачи и соотношение водяных эквивалентов.
2. Процесс сушки требует жесткого лимитирования скорости подвода тепла для компенсации разницы теплопроводности фаз и предотвращения разрушения гранул внутренним давлением пара.
3. Максимальное упрочнение достигается в зоне обжига при температурах 1200–1360 °C за счет формирования жидкостной связки. Контроль времени выдержки (20–25 мин) является определяющим для баланса между прочностью и газопроницаемостью слоя.

Практическое применение полученных закономерностей позволяет стабилизировать качество окатышей и повысить общую производительность обжиговых машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ровин Л. Е., Заяц Т. М. Нагрев в слое дискретных материалов // Литье и металлургия. – 2006. – № 2-2(38). – С. 169–170.

2. Павловец В. М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд: учеб. пособие / В. М. Павловец; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – 345 с.

3. Братчиков С. Г., Берсенев Ю. С. Теплотехника окускования железорудного сырья. – М.: Металлургия, 1970. – 344 с.

4. Юсфин Ю. С., Базилевич Т. Н. Обжиг железорудных окатышей. – М.: Металлургия, 1973. – 272 с.

5. Тимофеева А. С., Никитченко Т. В., Тимофеев Е. С., Федина В. В. Теплофизика получения окисленных окатышей. – Старый Оскол: ТНТ, 2020. – 140 с.

6. Тимофеева А. С., Федина В. В. Справочник теплофизика-металлурга. – Старый Оскол: Роса, 2008. – 279 с.

7. Тимофеева А. С. и др. Экстракция чёрных металлов из природного и техногенного сырья: учебное пособие. – Старый Оскол: ТНТ, 2014. – 304 с.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ РАСХОДОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДАХ

Подусовская М.О., Попов А.М., студенты 3 курса
Научный руководитель – старший преподаватель, **Гавриш П.В.**
Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» г. Новотроицк»

Известно, что на отечественных предприятиях машиностроительной отрасли около одной трети потребляемых энергетических ресурсов затрачивается непосредственно на осуществление технологических процессов [1]. При этом остальные две трети потребляемых энергетических ресурсов расходуются на работу заводского транспорта, освещение, отопление, вентиляцию, выработку сжатого воздуха и другие вспомогательные нужды.

Наиболее энергоемкими предприятиями машиностроения являются предприятия, деятельность которых связана с производством военной техники [2]. А наиболее энергетически затратными цехами в машиностроении являются: литейные, кузнечные, термические и другие.

При большой номенклатуре, изготавливаемой на отечественных машиностроительных заводах продукции, на них, в основном, отсутствуют нормы расхода энергетических ресурсов, затрачиваемых при изготовлении продукции. За рубежом для оценки энергетической эффективности используемых ресурсов применяют такие показатели как топливоемкость, теплоемкость, электроемкость и энергоемкость продукции [3]. Такие же показатели можно использовать и при оценке энергосбережения на машиностроительных предприятиях Российской Федерации.

В литейных цехах машиностроительных заводов с неполным технологическим циклом, основной акцент при энергосбережении следует уделять энергосбережению при производстве кислорода, а также сжатого воздуха. Для таких литейных цехов в качестве показателей оценки энергетической эффективности применения носителей энергии целесообразно применять удельные расходы на единицу изготавливаемой на заводе продукции.

Добиться внушительной экономии электрической энергии на предприятиях с большим парком металлообрабатывающих станков можно с помощью внедрения таких мероприятий как:

1) сокращение припусков при изменении формы заготовок с их приближением к форме, близкой к контуру готового изделия;

2) изменение способов механической обработки заготовок, например, применением скоростного фрезерования взамен строгания;

3) выполнение фрезерных работ при установке на одном станке нескольких фрез;

4) изменение параметров обработки, например, резания;

5) применение для сверления отверстий многошпиндельных станков вместо одношпиндельных.

Сэкономить тепловую энергию на машиностроительных заводах можно осуществив переход от традиционных методов отопления помещений к инфракрасному газовому обогреву. Технология с применением при обогреве газовых инфракрасных излучателей является оптимальной для обогрева помещений, в которых потолки имеют высоту выше трех метров. Использование инфракрасных лучей позволяет значительно сократить время, затрачиваемое для получения в цехах предприятия комфортных условий, а также позволяет экономить энергетические ресурсы на предприятии.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать выводы, что, в основном, снизить расходы энергетических ресурсов на машиностроительных заводах можно:

1) применением автоматизированных систем учета;

2) оптимизацией теплоснабжения (модернизация систем отопления, использование пластиковых труб, теплоизоляция трубопроводов, применение систем автоматического регулирования температуры);

3) оптимизацией освещения (автоматизация систем освещения, замена ламп на светодиодные, использование датчиков движения, окрашивание стен в светлые тона для повышения светоотражения);

4) оптимизацией электроснабжения (установка приборов компенсации реактивной мощности, применение стабилизаторов напряжения);

5) использованием вторичных энергетических ресурсов, заменой устаревшего оборудования на более энергоэффективное (замена электродвигателей на частотно-регулируемые приводы (ЧРП), внедрение стационарных компрессоров с ЧРП);

6) использованием вторичных энергетических ресурсов (использование тепла отходящих газов печей, применение отработанных регенерированных масел).

Эффективность использования энергетических ресурсов на машиностроительных заводах значительно увеличивается за счет использования светодиодных ламп и частотно-регулируемых приводов.

Реализация мероприятий по снижению расходов энергетических ресурсов на машиностроительных заводах мер позволяет сократить себестоимость продукции заводов и повысить конкурентоспособность предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита. - М.: Издательство Машиностроение-1, 2006. – 256 с.

2. Экономия энергоресурсов в промышленных технологиях: справочно-методическое пособие / Г.Я. Вагин [и др.]. – Нижний Новгород: НГТУ, НИЦЭ, 2001. - 296 с.

3. Основы энергосбережения: учебник / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков: под ред. Н.И. Данилова. – Екатеринбург: ГУ СО «Институт энергосбережения», 2008. - 526 с.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ КОЛОСНИКОВ ОБЖИГОВЫХ МАШИН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОКИСЛЕННЫХ ОКАТЫШЕЙ

Рябов Л.А., **Купцова Д.А., Часовских Д.В.** студенты 2 курса
Гиряинова А.В., Елисеева Е.Ю., студены 1 курса магистратуры
Научный руководитель – к.т.н., доцент, **Скляр В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Колосники обжиговых машин для производства окисленных окатышей — ключевой элемент технологического оборудования, работающий в условиях высоких температур, агрессивных сред и циклических нагрузок. Их конструкция и материал изготовления напрямую влияют на долговечность, эффективность теплообмена и производительность машины [1].

В обжиговых конвейерных машинах применяют колосники трапециевидной, ромбической и прямоугольной формы (рис 1).

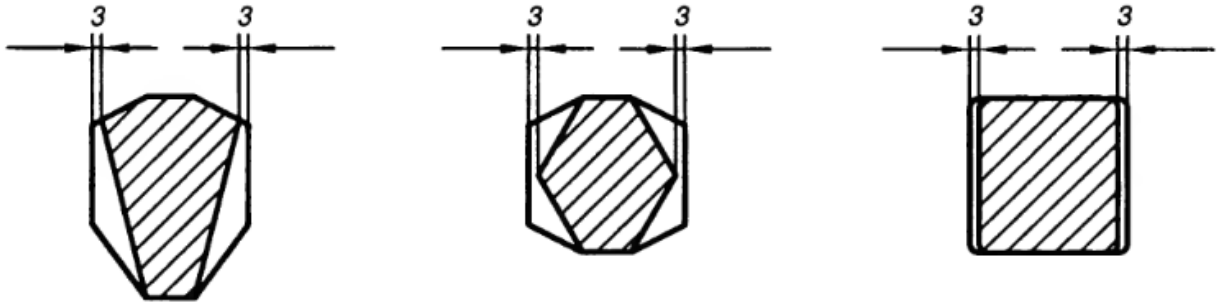


Рис. 1 – Виды колосников обжиговых машин

Прямоугольные колосники, будучи более широкими и массивными, лучше сопротивляются короблению и разгару. Ромбического сечения лучше самоочищаются от застрявших между ними кусочков шихты при движении тележек в перевёрнутом положении.

Колосник обычно включает нижние и верхние опорные рожки, а также дистанционные планки (рис 2). Их расположение и параметры влияют на распределение массы, равномерность нагрева и эффективность теплообмена.

Рассмотрим один из вариантов конструкции колосника, в котором повышение производительности обжиговой машины решается за счет увеличения потока теплонесущего газа между колосниками путем использования пазов [2].

Поставленная задача решается тем, что в колоснике обжиговой машины, включающем верхние и нижние опорные рожки, дистанционные планки, рабочее тело, образованное верхней рабочей поверхностью, нижней поверхностью, а так же боковыми поверхностями, в соответствии с предлагаемой полезной моделью на обеих боковых поверхностях вдоль направления движения теплонесущего газа выполнены пазы. При этом пазы на одной боковой поверхности колосника расположены либо напротив промежутков между пазами на другой боковой поверхности, либо напротив пазов на другой боковой поверхности, либо каждый паз на одной боковой поверхности колосника расположен напротив части паза и одновременно напротив части промежутка между пазами на другой боковой поверхности.

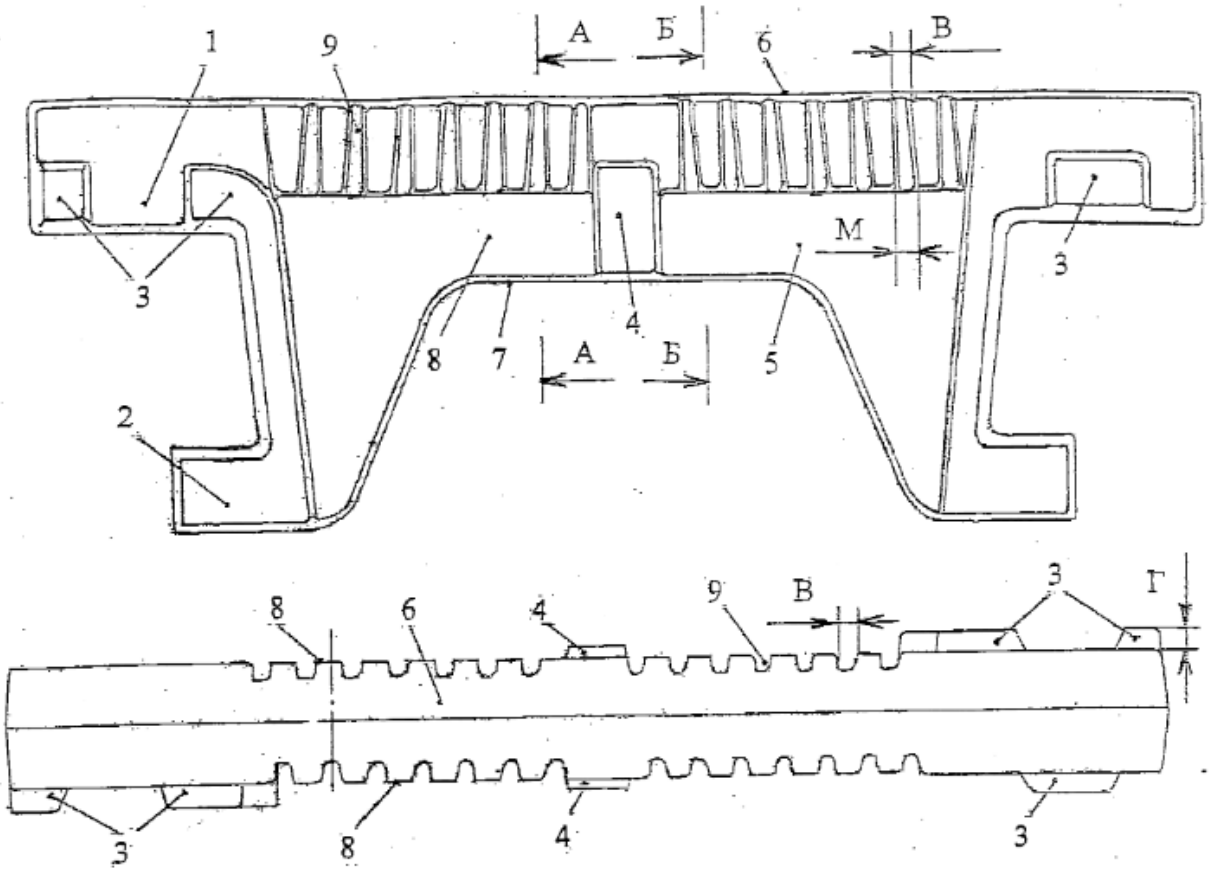


Рис. 2 – Конструкция колосника

Наличие пазов уменьшает поперечное сечение тела колосника и тем самым уменьшает его прочность. Поэтому максимальная глубина пазов ограничивается нагрузкой от веса обжигаемого металлургического сырья. Форма поперечного сечения пазов (прямоугольная, округлая и др.) при равной площади поперечного сечения мало влияет на величину потока теплонесущего газа и выбирается исходя из минимальной трудоемкости изготовления.

Для обеспечения необходимой величины потока теплонесущего газа через зазоры между колосниками пазы могут выполняться на обеих боковых поверхностях колосника.

Колосник включает верхние опорные рожки 1, нижние опорные рожки 2, дистанционные планки 3, дистанционные планки 4. Рабочее тело 5 колосника включает верхнюю рабочую поверхность 6 и нижнюю поверхность 7, а также боковые поверхности 8 тела колосника и пазы 9.

Возможны три варианта взаимного расположения пазов на боковых поверхностях колосника. В первом варианте пазы на одной боковой поверхности колосника расположены напротив промежутков между пазами на другой боковой поверхности. Во втором варианте пазы на одной боковой поверхности колосника расположены напротив пазов на другой боковой поверхности. В третьем варианте каждый паз на одной боковой поверхности колосника расположен напротив части паза и одновременно напротив части промежутка между пазами на другой боковой поверхности [2].

В некоторых конструкциях нижняя часть верхних опорных рожков может быть выполнена с выемкой или клином, что способствует удалению окатышей из-под опорных поверхностей и предотвращает нарушение целостности колосниковой решётки. Донная часть колосника может иметь выступ переменного сечения, который обеспечивает более равномерное распределение тепла по длине и сечению колосника, снижая термические напряжения [3]. На боковой поверхности нижних опорных рожков могут выполняться теплоотводящие рёбра для улучшения распределения тепла.

Для изготовления колосников обжиговых тележек часто используют жаропрочные и жаростойкие стали, например, двухфазную хромоникелевую сталь марки 40Х24Н12СЛ (по ГОСТ 977-88). Эта сталь обладает коррозионной стойкостью, жаропрочностью и жаростойкостью при температурах до 1000 °С. Однако при высокой термоцикличности (например, 30 минут нагрева с резким перепадом температуры и 30 минут охлаждения) такие стали подвержены трещинообразованию [4].

Также существуют патенты, связанные с способом изготовления колосников с повышенным эксплуатационным ресурсом из литой жаростойкой стали с определённым химическим составом и термической обработкой (закалка на воздухе при 1100 °С с последующим отпуском при 900 °С) [5].

Оптимальная ширина щелей, образованных местными выступами на боковых поверхностях колосников, устанавливается практикой эксплуатации и часто составляет около 6 мм. Применение защитной постели из отсева агломерата или обожжённых окатышей может существенно снизить тепловое воздействие на тележки. Колосники изымаются из эксплуатации по визуальным технологическим признакам: уменьшение ширины, изменение геометрических размеров, нарушение целостности поверхности (коробление, оплавление, трещинообразование, коррозионное разрушение.

Заключение

Таким образом выбор между формами поперечного сечения колосников зависит от приоритетов в эксплуатации. Если критически важна интенсивность газового потока и возможность гибкой настройки зазоров, предпочтительнее колосники с пазами. Однако их применение требует учёта ограничений по прочности и размерам пазов. Если приоритет — долговечность и равномерность температурного поля (особенно при высоких термических нагрузках), более подходящим вариантом будут колосники с выступом переменного сечения. Несмотря на сложность изготовления, они обеспечивают стабильную работу в условиях циклического температурного нагружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Учитель А. Д., Панченко А. Н., Пополов Д. В. Исследование физико-механических свойств электросталей, обеспечивающих повышенную эксплуатационную стойкость колосников обжиговых и агломерационных машин // ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет». 2015. №31. С. 14-20.

2. Патент на полезную модель № 166477 U1 Российская Федерация, МПК F27B 21/08, F23H 17/12. Колосник обжиговой машины : № 2016116961/06 : заявл. 28.04.2016 : опубл. 27.11.2016 / В. Ф. Соболев ; заявитель Закрытое акционерное общество "Ферро Балт Плюс".

3. Патент RU 2023224 C1. МПК F27B21/06. Колосник обжиговой машины / Маслов Р. А., Рудницкий А. Л., Ситчихин Ю. П., Гончаренко Н. А., Антоненко А. Д.; патентообладатель: Акционерное общество «Песковский литейный завод». — № 4945065/02; заявл. 19.06.1991; опубл. 15.11.1994, Бюл. № 21. — 4 с.

4. Иванов, Д.И. Анализ причин снижения эксплуатационного ресурса колосников обжиговых тележек из стали 40Х24Н12СЛ методом математического моделирования / Д.И. Иванов, А.А. Кожухов, В.А. Скляр // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. - 2018. - Том 61. - № 7. - С. 536–542

5. Патент № 2708728 C1 Российская Федерация, МПК C21D 9/00, C22C 38/40. Способ изготовления колосников обжиговых тележек с повышенным эксплуатационным ресурсом : № 2018131970 : заявл. 28.11.2018 : опубл. 11.12.2019 / Д. И. Иванов, А. А. Кожухов. – EDN WXOUMX.

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ЭНЕРГООБЪЕКТОВ: АРХИТЕКТУРА И ПРАКТИЧЕСКИЕ ВЫГОДЫ

Татров Б.М.[1], студент 2 курса
Научный руководитель – к.с.-х.н., доцент **Плиева М.Т.[2]**
[1]ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет»
[2]ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»

Введение

Современная электроэнергетика всё чаще сталкивается с непростыми задачами: сети становятся разветвлённее и сложнее, доля возобновляемой генерации неуклонно растёт, а требования к надёжности и экономичности работы оборудования ужесточаются. Привычные подходы к мониторингу и управлению, построенные на SCADA-системах, перестали полностью удовлетворять потребностям в оперативной реакции и предиктивном анализе – они нередко работают постфактум и не способны предсказывать развитие ситуаций.

Альтернативой и логическим развитием выступает концепция цифрового двойника (ЦД). Это динамическая виртуальная копия физического объекта, которая в реальном времени получает данные с датчиков и благодаря этому позволяет моделировать поведение оборудования, прогнозировать возможные отклонения и находить оптимальные режимы без прямого вмешательства в действующую инфраструктуру.

В отличие от статичных трёхмерных моделей или упрощённых симуляторов, цифровой двойник способен к двустороннему информационному обмену: он не просто отображает текущее состояние, но и на основе расчётов выдаёт конкретные рекомендации по управлению. Это особенно ценно для энергообъектов разного уровня – от единичных турбогенераторов и подстанций до целых энергосистем. Внедрение ЦД открывает широкие возможности для совершенствования эксплуатации, оптимизации графиков ремонтов и даже для подготовки оперативного персонала.

В данной статье предлагается собственная архитектура такого цифрового двойника, а на практических примерах – планирование ремонтных кампаний, выбор оптимальных режимов работы и обучение сотрудников – демонстрируется его реальная польза.

Архитектура цифрового двойника.

Архитектура цифрового двойника для энергосистемы, отдельной подстанции или турбогенератора строится как многоуровневая иерархическая структура с замкнутыми контурами обратной связи. Благодаря этому виртуальная копия постоянно сверяется с реальным объектом и актуализируется. В основе лежат шесть взаимосвязанных слоёв, которые обмениваются данными в реальном времени через стандартные промышленные протоколы (например, IEC 61850, MQTT, OPC UA) и опираются на облачные или гибридные хранилища.

Первый уровень — сам физический объект. Это действующая энергосистема, подстанция либо турбогенератор, оснащённые датчиками. Последние измеряют температуру, вибрацию, токи, напряжения, давление и другие параметры.

Второй уровень — сбор данных. Здесь работают IoT-устройства и системы edge-вычислений (периферийная обработка), которые передают информацию в потоковом режиме с задержками вплоть до миллисекунд.

Третий уровень — интеграция и хранение данных. На этом этапе поступающая информация агрегируется, очищается от шумов и структурируется, формируя единую базу знаний — основу для всех последующих расчётов.

Четвёртый, центральный уровень — цифровая модель. Она состоит из нескольких взаимодополняющих компонентов: физической модели, которая математически описывает тепловые, электромагнитные и механические процессы; поведенческой модели, имитирующей реакцию объекта на внешние воздействия (часто с применением нейросетей); симуляционной модели, позволяющей проигрывать сценарии «что будет, если…»; модулей

искусственного интеллекта, которые обучаются на исторических и текущих данных, постепенно повышая точность прогнозов.

Пятый уровень — аналитика и оптимизация. Здесь модельные данные обрабатываются для предсказания будущих состояний оборудования и формирования практических рекомендаций по управлению.

Шестой уровень — пользовательский интерфейс. Это дашборды, а также VR- и AR-симуляторы, через которые операторы могут визуализировать процессы и взаимодействовать с цифровым двойником.

Важно отметить, что обратная связь замыкает полный цикл: результаты анализа и рекомендации передаются обратно в реальную систему управления, позволяя корректировать режимы работы без участия человека или с минимальным его вмешательством. Благодаря такой модульной архитектуре цифровой двойник легко масштабировать — от одного турбогенератора до целой энергосистемы региона. Более того, протоколы открытого типа и гибридное хранение данных обеспечивают совместимость с существующими системами автоматизации (SCADA, АСУ ТП), что упрощает внедрение на действующих объектах.

Рис. 1 – Архитектура цифрового двойника энергосистемы / подстанции / турбогенератора (Многоуровневая схема с обратными связями, иллюстрирующая потоки данных от физического объекта к аналитике и интерфейсу пользователя.)

Практическая польза цифрового двойника

Планирование ремонтов. Цифровой двойник радикально меняет подход к техническому обслуживанию, переходя от нормативного (по календарю) к предиктивному (по фактическому состоянию). Модель непрерывно анализирует параметры износа (вибрация ротора турбогенератора, нагрев изоляции трансформаторов подстанции, деградация оборудования в энергосистеме) и прогнозирует остаточный ресурс с точностью до 85–95 %. Это позволяет:

- выявлять скрытые дефекты на ранних стадиях (например, микротрещины в лопатках турбины);

- оптимизировать графики остановов, минимизируя простои (снижение до 20–30 %);
- планировать закупку запчастей и привлечение специалистов заранее.
- В результате сокращаются внеплановые ремонты, продлевается межремонтный период и снижаются общие затраты на эксплуатацию на 15–25 %.

Оптимизация режимов

Цифровой двойник позволяет в реальном времени моделировать и выбирать оптимальные эксплуатационные режимы с учетом нагрузки, погодных условий, цен на топливо/электроэнергию и состояния оборудования. Для турбогенератора это означает подбор частоты вращения и нагрузки, минимизирующий расход топлива при сохранении КПД. На подстанции — балансировка потоков мощности для снижения потерь в линиях. В масштабах энергосистемы — автоматический поиск конфигурации, обеспечивающей минимальные выбросы и максимальную устойчивость. Практические эффекты включают рост энергоэффективности на 8–12 %, снижение пиковых нагрузок и предотвращение перегрузок. ИИ-модули цифрового двойника обучаются на исторических данных, предлагая сценарии, недоступные традиционным системам автоматики.

Обучение персонала. Цифровой двойник создает безопасную виртуальную среду для тренировки оперативного и ремонтного персонала. Операторы могут отрабатывать сценарии аварий (короткое замыкание на подстанции, отказ турбогенератора, каскадное отключение в энергосистеме) без риска для оборудования и людей. VR/AR-интерфейсы позволяют «погрузиться» в модель, визуализировать скрытые процессы и отрабатывать действия по протоколам. Преимущества: сокращение времени подготовки новых сотрудников в 2–3 раза; повышение качества принятия решений в стрессовых ситуациях; регулярные симуляционные тренинги с фиксацией ошибок и обратной связью от ИИ.

Такая подготовка значительно снижает человеческий фактор — основную причину многих инцидентов в энергетике.

Таблица 1 – Ключевые эффекты от внедрения цифрового двойника

Область применения	***Контролируемый параметр***	***Типовое улучшение (диапазон)***
Планирование ремонтов	Точность прогноза остаточного ресурса	85–95 %
	Сокращение внеплановых простоев	20–30 %
	Снижение эксплуатационных затрат	15–25 %
Оптимизация режимов	Повышение энергоэффективности	8–12 %
	Уменьшение потерь в линиях (балансировка)	до 10 %
	Предотвращение перегрузок (пиковых нагрузок)	снижение на 5–15 %
Обучение персонала	Сокращение времени подготовки новых сотрудников	в 2–3 раза
	Снижение аварийности по человеческому фактору	30–50 % (оценка)
	Частота симуляционных тренировок	неограниченная, без риска

**Примечание: приведённые значения основаны на данных опытной эксплуатации и отраслевых пилотных проектах, описанных в тексте.*

Заключение

Цифровой двойник для энергосистемы, отдельной подстанции или турбогенератора — это гораздо больше, чем просто система мониторинга. По сути, он становится стратегической платформой, позволяющей поднять надёжность, экономичность и безопасность работы на новый уровень. Предложенная в статье архитектура объединяет все компоненты в единый контур: от первичных датчиков и устройств сбора данных до интерфейсов, с которыми

работает персонал. Практические примеры использования ЦД — для прогнозирования сроков ремонтов, выбора оптимальных режимов и тренировки операторов — убедительно показывают, что его внедрение экономически оправдано.

Если говорить о дальнейшем развитии технологии, то ключевыми направлениями здесь станут интеграция с сетями связи пятого и шестого поколений (5G/6G), которые обеспечат сверхнадёжную передачу данных с минимальными задержками, а также использование квантовых вычислений для моделирования особенно сложных переходных процессов. Кроме того, необходима отраслевая стандартизация цифровых моделей, чтобы двойники от разных производителей могли обмениваться данными и совместно работать.

Внедрение цифровых двойников — это один из главных драйверов цифровой трансформации российской энергетики. Оно позволит не только сократить аварийность и эксплуатационные издержки, но и создать основу для интеллектуальных систем управления будущего, способных работать в режиме реального времени с минимальным участием человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеев Г.А. Поиск подходящей архитектуры для разработки цифрового двойника гибридных энергетических систем в изолированных от сетевых // КиберЛенинка. 2022.
2. Салов И.В. Применение цифровых двойников и киберфизических систем на объектах генерации тепловой и электрической энергии // КиберЛенинка. 2022.
3. Массель Л.В., Ворожцова Т.Н. Онтологический подход к построению цифровых двойников энергосистем // Онтология проектирования. 2020. № 3 (37).
4. Гвоздяный С.Е. Российский и зарубежный опыт использования цифровых двойников в энергетике // Электронная библиотека. 2024.
5. Илюшин П.В. Системный подход к развитию и внедрению распределенной энергетики // Энергетик. 2022. № 4.
6. Котляревская А.В. Цифровой двойник здания как основа применения технологий умного города // Nanobuild. 2024.
7. Материалы семинара «Цифровые двойники в энергетике: практический инструмент» // Info-Pro. 2025.
8. Стандарты IEC для цифровых двойников в энергетической промышленности // Belgiss. 2025.
9. Голоев Д.Т., Татров Б.М., Плиева М.Т. Цифровые двойники для малых гидроэлектростанций. В сборнике: Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России. сборник трудов XIV Всероссийской Школы-семинара, молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников. 2023. С. 334-340.
10. Макеев Р.Г., Плиева М.Т. Тренды развития искусственного интеллекта и цифровых технологий на основе ИИ в ТЭК // Сборник трудов XV Всероссийской Школы-семинара, молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников Геленджик, 15-17 мая 2024 г., С. 231-235.
11. Татров Б.М., Плиева М.Т. Кибербезопасность в электроэнергетике: анализ угроз и перспективные направления защиты критической инфраструктуры // Сборник материалов VIII Международной молодежной научно-практической конференции «ЭНЕРГОСТАРТ», Кемерово, 20-21 ноября 2025 г., С. 248-5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УШИРЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ РОМБИЧЕСКОЙ ПОЛОСЫ В КВАДРАТНОМ КАЛИБРЕ

Чабан М.Р., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент, **Скляр В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Прокатка - один из ключевых процессов обработки металлов давлением, позволяющий получать изделия заданной формы и размеров с высокими эксплуатационными характеристиками [1]. Особое место в технологии прокатки занимает калибровка валков, определяющая точность геометрии профиля и качество поверхности. При производстве квадратных профилей часто используется система вытяжных калибров ромб-квадрат [2]. Процесс разработки калибровки требует точного учёта параметров деформации, в первую очередь — уширения.

Уширение — это изменение ширины заготовки при прокатке, которое зависит от множества факторов: формы калибра, коэффициента вытяжки, свойств материала, условий трения и температурного режима [3]. Для ромбической полосы в квадратном калибре уширение особенно важно, поскольку оно влияет на заполнение калибра, точность размеров готового квадрата и вероятность появления дефектов [4].

Современные исследования в этой области направлены на разработку математических моделей и методик расчёта уширения, а также на совершенствование конструкций калибров и технологий прокатки [5].

Цель исследования — изучить процесс уширения при прокатке ромбической полосы в квадратном калибре, выявить закономерности его протекания и разработать методику расчёта параметров уширения для повышения точности формоизменения.

В работе был проведен эксперимент на лабораторном прокатном стане с использованием пластилиновых образцов, в том числе слоистых. Использовалось три вида пластилина: твердый, средней твердости и мягкий. Параметры образцов до и после прокатки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – параметры образцов

Вид пластилина	Шифр образца	h_0	b_o	h_1	b_1
Твердый	мш1	12,8	9,2	12,2	9,7
	мш2	12,8	10,4	12,7	10,5
	мш3	12,5	9,58	11,8	10,3
	сш1	14,7	12,3	12,5	13,3
	сш2	14,5	12,5	11,5	13,8
	бш1	14,3	14	14,1	14,4
Средней твердости	мш4	13,3	10,5	12,8	10,8
	мш5	13,1	11,4	12,8	11,5
	сш3	15,6	12,3	13	13,3
	сш4	15	12,3	12,3	13,4
	бш2	14,5	13,8	13,1	14,1
	бш3	15,5	13,8	11,8	14,2
Мягкий	мш6	13,5	11,1	11,9	11,8
	сш5	14,6	12,3	14,2	12,8
	сш6	15,1	12,3	12,8	13,3
	бш4	15,2	13,9	14,5	14,2
	бш5	15,1	13,8	12,9	14,1
	бш6	14,3	14,1	11,9	14,4

Рассмотрим влияние относительного обжатия на относительное уширение. Для это разобьем все образцы на три группы по ширине исходного ромба, который задавался в квадратный калибр. Зависимость относительного уширения от относительного обжатия при малой ширине ромбического раската приведена на рис. 1.

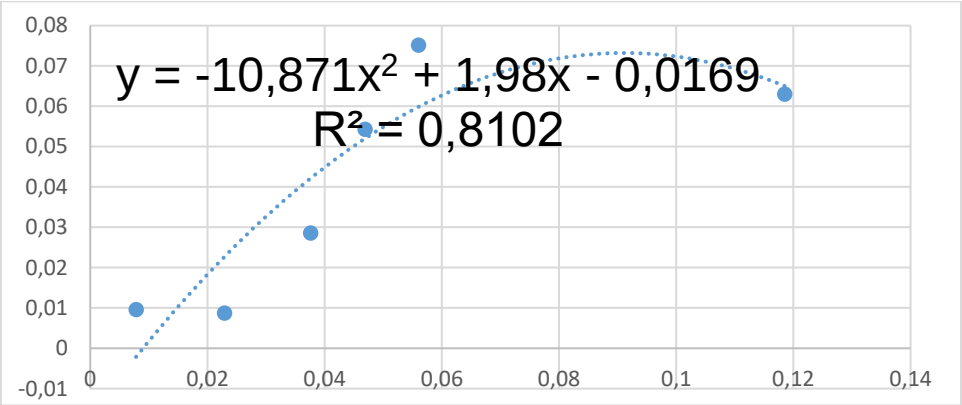


Рис. 1 – Зависимость относительного уширения от относительного обжатия при малой ширине ромбического раската

Как видим зависимость имеет возрастающий характер и соответствует теоретическим представлением. Снижение уширения при максимальном обжатии объясняется переполнением калибра.

Зависимость относительного уширения от относительного обжатия при средней ширине ромбического раската приведена на рис. 2.

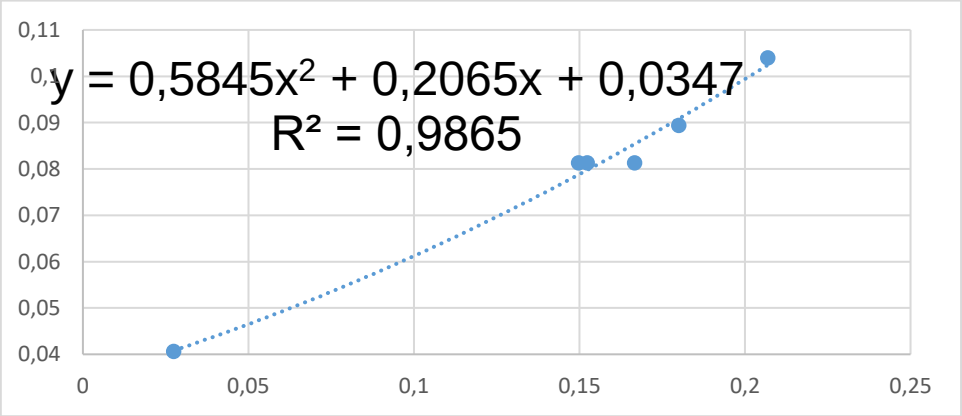


Рис. 2 – Зависимость относительного уширения от относительного обжатия при средней ширине ромбического раската

Как видим зависимость также имеет возрастающий характер и соответствует теоретическим представлением.

Зависимость относительного уширения от относительного обжатия при максимальной ширине ромбического раската приведена на рис. 3.

В этом случае часто наблюдалось переполнение калибра поэтому четкой возрастающей зависимости нет.

В результате регрессионного анализа была получена модель уширения прокатке ромбической полосы в квадратном калибре (R_2 =0,81):

$$\varepsilon_b = -0{,}095281 + 0{,}38716 \cdot \varepsilon_h + 0{,}09503 \frac{h_0}{b_0}$$

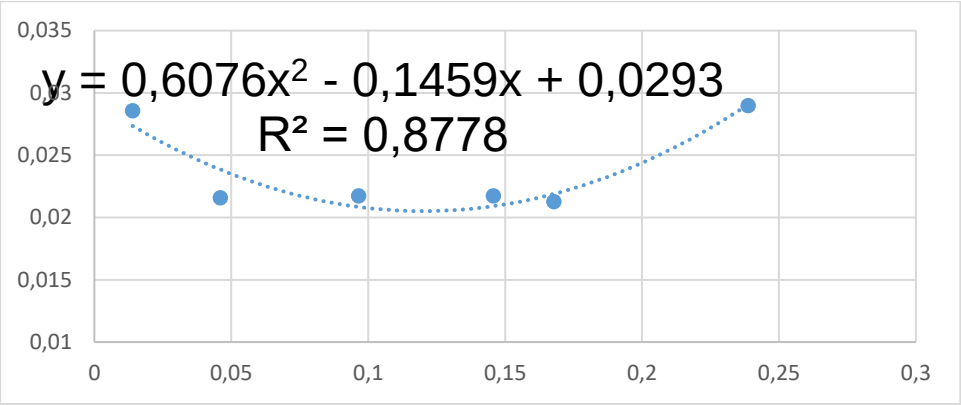


Рис. 3 - Зависимость относительного уширения от относительного обжатия при максимальной ширине ромбического раската

Заключение

В ходе исследования процесса уширения при прокатке ромбической полосы в квадратном калибре были проанализированы основные факторы, влияющие на формоизменение заготовки, и определены закономерности, определяющие точность получаемого профиля. Выявлена зависимость величины уширения от ключевых технологических параметров: с увеличением обжатия уширение возрастает, однако при превышении критического значения появляется риск переполнения калибра и образования боковых заусенцев («лампасов»). Получена уточнённая математическая модель процесса уширения для заданных условий прокатки пластилиновых образцов, которая может быть использована в учебном процессе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидельников С. Б., Константинов И. Л., Ворошилов Д. С. Технология прокатки: учебник для магистров высших учебных заведений по направлению 22.04.02 «Металлургия» / С. Б. Сидельников, И. Л. Константинов, Д. С. Ворошилов; М-во образования и науки Российской Федерации, Сибирский федеральный ун-т, Ин-т цветных металлов и материаловедения. — 3-е изд., доп. и перераб. — Красноярск: СФУ, 2016. — 179 с.

2. Рудской А. И., Лунев В. А. Теория и технология прокатного производства: учебное пособие для вузов / А. И. Рудской, В. А. Лунев. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2024. — 525 с.

3. Целиков А. И., Никитин Г. С., Рокотян С. Е. Теория продольной прокатки: учебное пособие для вузов по специальностям «Обработка металлов давлением» и «Машины и технология обработки металлов давлением» / А. И. Целиков, Г. С. Никитин, С. Е. Рокотян. — Москва: Металлургия, 1980. — 319 с.

4. Смирнов В. К., Шилов В. А., Инатович Ю. В. Калибровка прокатных валков: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Металлургия» / В. К. Смирнов, В. А. Шилов, Ю. В. Инатович; Федеральное агентство по образованию, Уральский гос. технический ун-т — УПИ. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — Москва: Теплотехник, 2008. — 490 с.

5. Исследование уширения при прокатке в ромбических калибрах [Текст] / Л.С.Кохан, И.Г.Роберов, Ю.А.Морозов, А.В.Шульгин // Технология металлов. - 2008. - N11. - С.18- 21.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОСТЫХ РАБОТ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Шелудков К.А., студент 3 курса
Научный руководитель - преподаватель, **Шелудкова О.С.**
Областное государственное автономное профессиональное образовательное учреждение «Старооскольский индустриально-технологический техникум», Россия, г. Старый Оскол

Надёжная и безопасная работа промышленного предприятия напрямую зависит от состояния электрического и электромеханического оборудования. Своевременное техническое обслуживание и грамотный ремонт позволяют минимизировать простои, снизить затраты на эксплуатацию и продлить срок службы техники. В рамках специальности 13.02.11 «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования» особое внимание уделяется организации простых работ по обслуживанию и ремонту — базовому элементу системы планово-предупредительных мероприятий.

Под простыми работами по техническому обслуживанию понимаются регулярные операции, направленные на поддержание оборудования в исправном состоянии без глубокой диагностики и капитального вмешательства. К ним относятся: очистка узлов и деталей от загрязнений, проверка креплений и контактных соединений, смазка подвижных элементов, контроль уровня рабочих жидкостей, замена быстроизнашиваемых компонентов (щёток, предохранителей, уплотнителей), а также визуальный осмотр на предмет повреждений изоляции, коррозии и перегрева [4].

Ремонтные работы, классифицируемые как простые, предполагают устранение типовых неисправностей, не требующих полной разборки агрегата или замены ключевых узлов. Примеры: замена повреждённого кабеля, восстановление контактных соединений, регулировка пусковой аппаратуры, ремонт клеммных колодок, замена изношенных ремней и подшипников [5]. Такие операции выполняются оперативно, силами дежурного персонала или бригады электромонтёров, и позволяют быстро вернуть оборудование в строй.

Организация этих работ строится на основе системы планово-предупредительного ремонта (ППР), которая предусматривает:

- составление графиков технического обслуживания с учётом нормативов и условий эксплуатации;
- распределение обязанностей между персоналом (дежурные электромонтёры, ремонтные бригады, инженерно-технические работники);
- обеспечение материально-техническими ресурсами (запасные части, инструменты, защитные средства);
- ведение учётной документации (журналы осмотров, акты выполненных работ, заявки на материалы);
- контроль качества и сроков выполнения операций.

Ключевым документом при планировании является график ППР, формируемый на год с разбивкой по месяцам. Он учитывает:

- межремонтные периоды для каждого типа оборудования;
- наработку в часах или циклах;
- специфику условий эксплуатации (влажность, запылённость, вибрации);
- историю предыдущих отказов и ремонтов.

Практическую реализацию этих принципов я изучаю на базе Стойленского горно-обогатительного комбината (СГОК) — ведущего предприятия по добыче и переработке железной руды в Центрально-Чернозёмном регионе. СГОК располагает обширным парком электрического и электромеханического оборудования: конвейерными линиями, дробильными установками, насосами, вентиляторами, трансформаторами, электродвигателями большой мощности и системами автоматизированного управления [8].

В ходе прохождения производственной практики на СГОК по модулям профессионального цикла я:

- ознакомился с организацией службы эксплуатации электрооборудования на предприятии;
- изучил локальные регламенты и графики ППР для различных типов оборудования;
- участвовал в выполнении простых работ по техническому обслуживанию: очистке контактных групп, проверке заземления, контроле состояния изоляции кабелей;
- наблюдал за процессом замены изношенных компонентов (предохранителей, щёток электродвигателей, уплотнительных элементов);
- принимал участие в диагностике неисправностей низковольтного оборудования под руководством опытных наставников;
- освоил правила заполнения эксплуатационной документации (журналов осмотров, актов выполненных работ).

В рамках предстоящей производственной практики мне предстоит углубить полученные навыки:

- самостоятельно выполнять регламентные операции по обслуживанию электроустановок до 1000 В;
- участвовать в ремонтных работах по восстановлению работоспособности пусковой и защитной аппаратуры;
- изучать особенности эксплуатации оборудования в условиях повышенной запылённости и вибрации, характерных для горнодобывающего производства;
- осваивать методы экспресс-диагностики состояния электродвигателей и силовых кабелей;
- знакомиться с цифровыми инструментами учёта и планирования технического обслуживания, внедряемыми на предприятии.

При выполнении работ строго соблюдаются требования нормативных документов:

- Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) [1];
- Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (ПОТЭУ) [2];
- заводские инструкции по обслуживанию оборудования;
- локальные регламенты предприятия.

Особое внимание уделяется безопасности. Перед началом любых операций оборудование отключается от сети, принимаются меры против случайной подачи напряжения (установка знаков, блокировка коммутационных аппаратов), проверяется отсутствие остаточного заряда. Персонал использует средства индивидуальной защиты: диэлектрические перчатки, коврики, инструмент с изолированными рукоятками [2][8].

Эффективность организации работ оценивается по следующим критериям:

- сокращение количества аварийных остановок;
- снижение времени простоя оборудования;
- уменьшение затрат на внеплановые ремонты;
- повышение коэффициента готовности техники;
- соблюдение нормативов по электробезопасности и охране труда.

Внедрение цифровых инструментов позволяет оптимизировать процессы. Например, мобильные приложения для фиксации дефектов ускоряют передачу информации, а системы учёта ресурсов помогают прогнозировать потребность в запчастях. Автоматизированные системы мониторинга отслеживают параметры работы оборудования в реальном времени и сигнализируют о отклонениях, что даёт возможность перейти от регламентного обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию [5][6].

Практический опыт на Стойленском ГОК подтверждает, что грамотная организация простых работ по обслуживанию и ремонту даёт значительный экономический эффект. Регулярные осмотры выявляют проблемы на ранней стадии, когда их устранение требует минимальных затрат. Чёткое распределение обязанностей и документирование операций исключают дублирование функций и упрощают анализ причин отказов. Обучение персонала

современным методикам повышает качество выполнения задач и снижает риск травматизма [4][5].

Таким образом, организация простых работ по техническому обслуживанию и ремонту — это не рутинная процедура, а стратегический элемент управления производственными активами. Она требует системного подхода, соблюдения нормативов и внедрения передовых практик. Для студентов специальности 13.02.11 освоение этих принципов на базе реального предприятия, такого как Стойленский ГОК, является фундаментом профессионального роста и гарантией успешной карьеры в сфере эксплуатации электрооборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП), утверждённые приказом Минэнерго РФ от 12.08.2022 № 811.
2. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (ПОТЭУ), утверждённые приказом Минтруда РФ от 15.12.2020 № 903н (с изменениями на 2023 год).
3. ГОСТ Р 50571.1-2022 (МЭК 60364-1:2005) «Электроустановки низковольтные. Часть 1. Основные положения, оценка общих характеристик, термины и определения».
4. Сидоров А.И. Эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий: учебное пособие. — М.: КноРус, 2023. — 280 с.
5. Кузнецов Н.В., Петров С.М. Техническое обслуживание электроустановок: современные подходы и технологии. — СПб.: Лань, 2024. — 192 с.
6. Журнал «Электрооборудование: эксплуатация и ремонт», № 3–6, 2024 г.
7. Официальный сайт Минэнерго РФ: разделы «Нормативные документы» и «Методические рекомендации», 2023–2024 гг.
8. Внутренние регламенты и инструкции Стойленского ГОК по эксплуатации и обслуживанию электрооборудования, 2024 г.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОГНЕУПОРОВ И ИХ ВТОРИЧНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПОСЛЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Шестаков М.А., студент 2 курса
Научный руководитель – ассистент, **Ряполова М.С.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

К огнеупорам относятся неметаллические материалы, предназначенные для использования в условиях высоких температур в различных тепловых агрегатах. Ключевым свойством таких материалов принято считать огнеупорность – то есть способность материалов сохранять без существенных нарушений свои функциональные свойства: прочность, термостойкость, теплопроводность и другие [1].

Широкое применение огнеупоры получили в металлургической промышленности, где материалам необходимо работать в условиях температур высокого диапазона и различных сред, включая расплавы и шлаки. Основной потребитель огнеупорных материалов – чёрная металлургия.

В процессе эксплуатации разного рода тепловых агрегатов (доменных печей, конверторов, электросталеплавильных печей, нагревательных, вращающихся и других типов нагревательных установок черной металлургии) облицовка огнеупорными материалами (известная как футеровка) изнашивается, и, когда стабильная работа металлургического агрегата становится невозможной, футеровку демонтируют и ее материал превращается в отходы.

Рис. 1 – Огнеупор: а) после замены, б) после долгого термического воздействия [2]

Чтобы эти отходы не загрязняли окружающую среду, применяются мероприятия по их переработке: сокращение, утилизация и рециклинг. Рассмотрим каждое из них в частности.

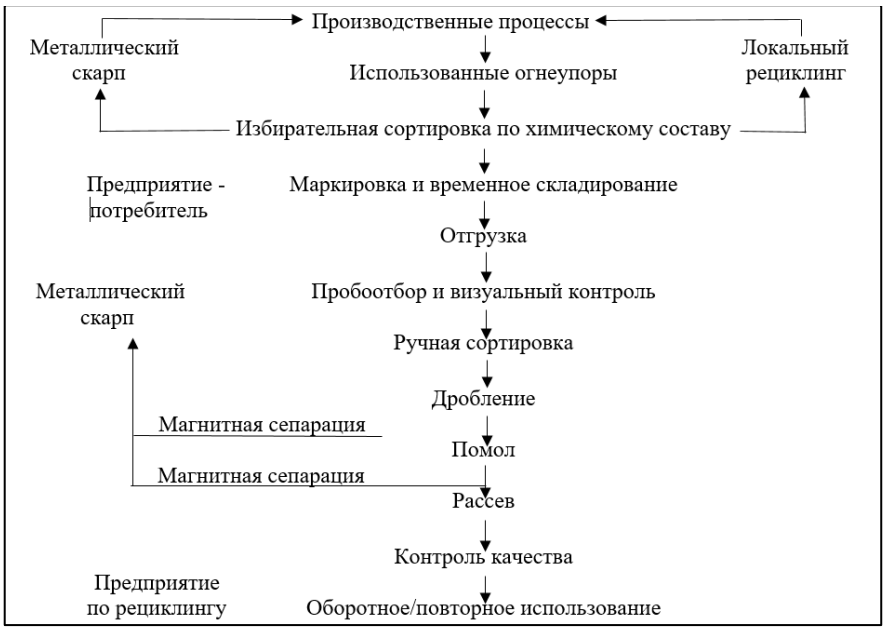


Рис. 2 – Схема процесса переработки изношенных огнеупоров [1]

Под сокращением понимают применение способов по снижению массы используемых огнеупоров за счёт смягчения режимов работы металлургического оборудования, повышения стойкости самих огнеупорных материалов, использования высокочистого сырья во время производства.

Утилизация подразумевает использование огнеупорного лома в металлургических процессах в качестве вспомогательных материалов. Также при утилизации может применятся магнитная сепарация, позволяющая увеличить процент использования лома за счет удаления из него металлических частиц.

Рециклинг огнеупоров — это процесс переработки и повторного использования отработанных или бракованных огнеупорных изделий. Цель процесса рециклинга — получить огнеупорные компоненты, которые могут быть использованы в производстве новых изделий, снизить экологическую нагрузку и оптимизировать ресурсопотребление.

Типичная схема процесса рециклинга огнеупоров включает несколько последовательных этапов обработки отработанных огнеупорных материалов с целью извлечения ценных компонентов и их повторного использования.

Основные этапы процесса рециклинга:

1. **Подготовка сырья.** Отработанные огнеупоры (футеровки металлургических и тепловых агрегатов) представляют собой агломераты, включающие зерна огнеупоров в первичном состоянии, зерна, подвергнувшиеся коррозии или разрушению структуры, технологическую связку, шлаки, соли, металлы. На этом этапе важно разрушить агломератную форму и получить смесь материалов в свободном состоянии.
2. **Деагломерация.** Механическое воздействие на матрицу для разрушения связей между компонентами. Может включать несколько стадий деагломерации для последовательного избирательного раскрытия сложных композиций.
3. **Сепарация и обогащение.** Разделение полученной смеси частиц по контрастным свойствам и характеристикам. Например, используются воздушные сепараторы для разделения по крупности и плотности. Также может применяться магнитная сепарация для извлечения частиц металла, имеющихся в шлаке.
4. **Измельчение.** В некоторых случаях (например, при переработке бакорового лома) требуется механическое измельчение для получения более мелкой фракции, пригодной для дальнейшей обработки.

5. **Дополнительная обработка (при необходимости).** В зависимости от состава сырья могут применяться химические методы, например, выщелачивание примесей раствором плавиковой кислоты.

6. **Получение товарных продуктов.** Из переработанного сырья могут изготавливаться новые огнеупорные материалы, высокоглиноземистые мертели, жаропрочные бетоны для футеровки различных элементов оборудования (например, теплообменных зон, сталеразливочных ковшей).

Таким образом, можно сделать вывод, что вторичное использование огнеупоров имеет экономическое и экологическое преимущество, поскольку снижает потребление первичных ресурсов и загрязнение окружающей среды, а также дает старт новым технологическим возможностям, благодаря чему разрабатываются новые виды огнеупоров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кащеев И.Д. Производство огнеупоров : учебное пособие для вузов / И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 344 с.

2. https://uniis.ru/zavod/stati/vybor-ogneupornyh-materialov-dlya-induktsionnyh-pechey/

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМОГО ВЛАГОПОГЛОЩЕНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НАЧАЛА САМОРАЗОГРЕВА МЕТАЛЛИЗОВАННОЙ ПРОДУКЦИ

Шевцова Л.А., Лихтина Е.Ю., магистранты 1 курса
Гладкая Е.А., аспирант
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Тимофеева А.С.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Физический состав любого навалочного груза можно рассматривать как состав фракций твердых частиц, воды и воздуха [1]. Интенсивность развития вторичного окисления (самонагревания), инициированного увлажнением, зависит от массы и формы скопления металлизованной продукции, условий тепломассообмена, вида инициатора. Морская вода, по сравнению с пресной водой, вызывает более интенсивное вторичное окисление ГБЖ и, являясь для него самым агрессивным внешним фактором, вызывает, как правило, самовозгорание [2-5]. При увлажнении металлизованной продукции, в которой содержание чистого железа более 85 %, последнее реагирует с водой и этот процесс в литературе описывается следующими реакциями:

$$3Fe+4H_2O=Fe_3O4 +4 H_2 -164 \text{ кДж/кг}$$

$$Fe+0,75 O_2 +0,5H_2O=FeOOH +7929 \text{ кДж/кг}$$

$$Fe+0,5O_2 +H_2O=Fe(OH)_2 + 10167 \text{ кДж/кг}$$

$$Fe+2H_2O= Fe(OH)_2+H_2 - 59,8 \text{ кДж/кг}$$

$$Fe+0,75 =O_2 +1,5H_2O= Fe(OH)_3 + 14728 \text{ кДж/кг}$$

Из анализа приведенных химических реакций окисления следует, что они в основном экзотермические и суммарный тепловой эффект, при наличии выделяющегося водорода, рассматривается специалистами как фактор опасности взрыва при хранении и транспортировке различных форм металлизованной продукции [6]. В этой работе отмечается, что экзотермическая реакция начинается сразу же после увлажнения образца и проявляется в повышении температуры, быстром снижении концентрации кислорода и повышении содержания водорода над материалом, эндотермичность образования которого существенно ниже экзоэффекта реакций окисления железа кислородом воздуха в присутствии воды. Автор [7] установил, что свежевосстановленный образец металлизованных окатышей интенсивно взаимодействует с водой и кислородом воздуха. В слое политых водой непассивированных окатышей температура поднимается до 90 °С в течение 4-6 часов.

Моделирование процесса самонагревания, вызванного воздействием увлажняющего агента (дистиллированная вода), проводили в духкамерном термостате, включающем регулятор и средства контроля температуры, концентрации кислорода и водорода в свободном пространстве реакционного сосуда.

В первой серии опытов регистрировали разогрев навески целых брикетов по 2 брикета в каждом сосуде (камере) при температуре термостатирования T_0 = 30±1 ^{0}С, их полном и частичном увлажнении дистиллированной водой. В камеру загружали брикеты, увлажненные дистиллированной водой. Крышки камер после загрузки образцов герметизировали силиконом.

Предварительно в геометрическом центре одного из брикетов каждой пары высверливали канал для термопары. Затем попарно выдерживали их дистиллированной воде. Для полного влагонасыщения 10 минут. Для частичного - 1,3 или 5 минут с последующим расчетом влажности навески. После удаления капельной влаги брикеты помещали в реакционную камеру выведенного на режим термостатирования термостата. В геометрический центр контрольного брикета помещали термодатчик. Точность регистрации температуры разогревающегося брикета составляла ±0,5 °С. Регистрация температуры

разогрева брикета осуществлялась прибором ИС-203.4 автоматически и визуально на его дисплее.

Массовую долю влаги в брикете при его «частичном увлажнении» определяли двумя способами:

- Брикет, высушенный в термостате при 105 ^{0}С до постоянного веса, охлаждался до комнатной температуры, погружался в жидкость на 1, 3 или 5 минут, вынимался, промакивался сухой салфеткой для удаления капель и взвешивался. По разнице весов мокрого и сухого брикета, определялась масса поглощенной воды. Отношение этой массы к массе сухого брикета умноженная на 100 это и есть степень увлажнения.

- Значение средней массы воды при полном поглощении (выдерживание образца в воде 10 минут) принимают за 100 %. Затем рассчитывают объём воды, которым надо пропитать сухой брикет с известной массой, чтобы получить задаваемую степень увлажнения.

Опыт продолжался при констатации охлаждения образца до температуры близкой к T_0 после разогрева. Значения температур, контролируемые визуально по дисплею показывающего прибора, фиксировались в рабочем журнале. В ходе опыта осуществлялся газовый анализ атмосферы сосудов с периодичностью 1 час. По окончании процесса разогрева брикеты извлекались, и установка подготавливалась к повторному опыту. Число опытов для каждой степени увлажнения составляло не менее трех.

Результаты испытаний

Процесс разогрева указанных видов металлизованной продукции зафиксирован сразу же после размещения материала с причала в негерметичную тару, в которой сформирован слой порядка 15-17 см. Наибольшая скорость разогрева наблюдается в первые 12-16 часов, затем температура стабилизируется и на 2-ые сутки вновь возрастает почти с той же скоростью. Далее наблюдается вялый рост температуры до окончания контроля над опытом. Можно говорить о 2-х периодах разогрева. Контроль температуры в помещении лаборатории в течение недели показал её колебание в пределах 19 - 23 ^{0}С. Если принять эти значения за T_0, то максимальные величины $\Delta T = T_в - T_0$ за период контроля составили:

- ГБЖ класса крупности 4 - 25 мм - 5 - 9 градусов для массы 11,5 кг и 8-12 градусов для массы 14,7 кг;

- ГБЖ мелочь - 12 -16 градусов для массы 13,9 кг и 7-10 градусов для массы 9,6 кг.

Для определения допустимой влажности, при которой наблюдается разогрев и происходит относительно увеличение концентрации водорода, различных форм металлизованной продукции АО «Лебединский ГОК» проведено более 90 опытов, без учета выше проанализированных результатов температурного контроля отобранных на испытание проб и опытов на этапе отработки методики по разогреву и определению возможностей схемы газового анализа. Результаты целевых опытов, показывающих экзотермический характер процесса окисления увлажненных форм металлизованной продукции, а также доказывающих их самонагревание, сопровождающееся поглощением кислорода и выделением водорода в принятых условиях опыта, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние степени увлажнения дистиллированной водой на измеряемые параметры

W, %	m_1, г средняя	Среднее значение измеряемых параметров					
		Газовый состав в опыте, %					
		Температура		При ΔT_{max}		В конце опыта	
		$T_в$, °С	ΔT, °С	[O_2]	[H_2]	[H_2]	[O_2]
Два брикета высшего сорта							
3,2-3,5	1290	50	20	16	1,01	0,73	18,5
2	1261	46	16	16,5	0,95	0,41	18,7
1	1284	55	25	17,5	0,31	0,17	19,2
0,5	1254	40	10	17,5	0,31	0,17	19,2

W, %	m_1, г средняя	Среднее значение измеряемых параметров					
		Газовый состав в опыте, %					
		Температура		При ΔT_{max}		В конце опыта	
		$T_в$, °С	ΔT, °С	$[O_2]$	$[H_2]$	$[H_2]$	$[O_2]$
ГБЖ класса крупности меньше 25 и выше 4 мм							
5,2-5,3	1000	62	32	12,7	1,27	1	17,6
3	997	66	36	10,6	1,38	1,06	17
1	1010	52	22	13,3	1,12	0,92	16,8
0,5	1005	45	15	16,2	0,85	0,75	17,5
Мелочь ГБЖ							
7,3-9	955	47	17	14,3	1,55	1,15	15,5
5	950	49	19	10,5	1,75	1,2	11,5
2	948	44	14	13,2	1,59	1,01	14,2
1	960	41	11	16,1	1,02	0,73	17
0,5	952	38	8	17,2	0,81	0,51	18,2

Примечание: значение ($[O_2]$) для свободного от навески объёма сосуда, без скобок для $[O_2]$ пробы газа прокаченной через слой навески

Получены следующие значения максимальных разогревов при увлажнении:

- горячебрикетированного железа (брикеты железной руды) высшего сорта влажностью 3,2 - 3,6 % — ΔT = 16 градусов. Следовательно, при увлажнении брикетов, сформированных в штабель допустимых размеров, пресной водой величина разогрева не должна превысить 20 ^{0}С, даже при максимально возможном увлажнении верхнего слоя штабеля. При этом во всех 20 опытах концентрация водорода не превышала значения 0,5 % об.

- горячебрикетированное железо (брикеты железной руды) класса крупности менее 25 свыше 4 мм - влажностью 3,0 % — ΔT = 24 градуса;

- мелочь горячебрикетированного железа (брикетов железной руды) влажностью 7-9 % — ΔT = 14 градусов;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Снопков В.И. Технология перевозки грузов морем: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп.-С.Петербург: АНО НПО “Мир и Семья”, 2001 г.- 560с .илл.
2. International Maritime Solid Bulk Cargoes Code (IMSBC Code) and supplement.- London: International Maritime Organization, 2009-445p.
3. Правила Безопасности Морской Перевозки Навалочных грузов (Правила НГ), СТО 318.1.38-2009. Книга 1,2 – СПб., ЦНИИМФ, 2009.-842 с.
4. Андрюшин В.И., Волнухин В.А., Касторных Л.А. Вторичное окисление металлизованных окатышей в экстремальных условиях // Прямое получение железа и порошковая металлургия, вып. 3. - М. 1978, С. 22-27.
5. Процессы вторичного окисления железа. Учебное пособие по выполнению лабораторных работ/ Тимофеева А.С., Никитченко Т.В. - Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСИС», 2013-5 4с.
6. Пути защиты губчатого железа от вторичного окисления / Завидонская А.В., Монахова В.С., Горина И.М. и др. // БНТИ Черная металлургия, 1979, № 4. С.21-40.
7. Шубин А.Ф.. Исследование процессов металлизации железорудных материалов в шахтных печах. Автореф. диссертации канд. тех. наук.- Магнитогорск, 1981, 22с.
8. ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения (с Изменением N 1) [Электронный ресурс].URL: https://digest.wizardsoft.ru/wp-content/uploads/media/doc/2018/go st/gost12-1-044-89.pdf (дата обращения: 06.04.2026)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЫЛИ

Яновский А.И., студент 2 курса
Гладкова В.Е., ученица 10 класса СОШ №24,
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Малахова О.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Проблема утилизации отходов предприятий чёрной металлургии становится все более актуальной в современных условиях. В настоящее время растут требования к экологической безопасности и рациональному использованию ресурсов. Применение новых технологий для переработки металлургических отходов в различные материалы (например, теплоизоляционные), может снизить экологическую и экономическую нагрузку. но и способствовать развитию инновационных решений в строительстве. Теплоизоляция — ключевой аспект в обеспечении энергоэффективности зданий и сооружений, что в свою очередь, связано с вопросами снижения энергозатрат. Использование вторичных материалов, таких как пыль газоочисток электросталеплавильного производства, дает возможность получить новые теплоизолирующие материалы, обладающими хорошими эксплуатационными характеристиками, недорогими и доступными (в местах накопления таких отходов).

Анализ научно-технической литературы [1-9] по проблеме использования электросталеплавильной пыли в производстве теплоизоляционных материалов показал, что чаще всего в качестве исходных материалов применяли вполне определённые материалы. На рисунке 1 показаны материалы, выбранные нами для составления сухой смеси.

Рис. 1 – исходные материалы для сухой смеси: а – электросталеплавильная пыль, б- вспененный материал, в – органический сухой материал, г – песок, д –углеродсодержащий материал, е - глина

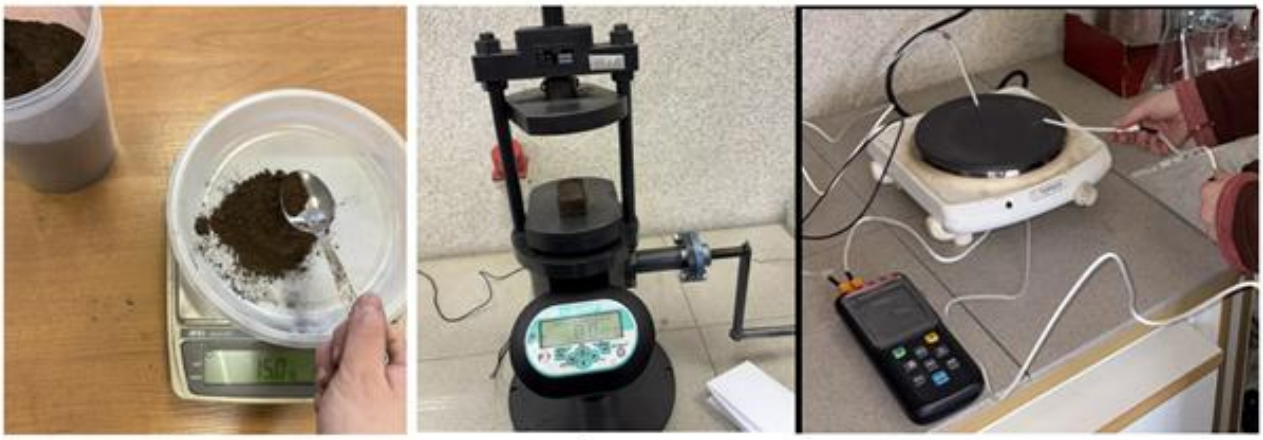
В сухую смесь для получения необходимой консистенции добавлялась вода и жидкий полимер. Далее нами был составлен план эксперимента в виде таблицы 1, содержащей процентный состав для пяти различных вариантов готовой смеси. При этом количество электросталеплавильной пыли не менялось и составляло 30% по массе (меньшее количество пыли нецелесообразно с точки зрения утилизации, а большее - ограничено рекомендациями исследователей).

Таблица 1 – Варианты состава готовой смеси для формовки

№	Пыль	Глина	Песок	Вспененный материал	Углерод-содержащий материал	Полимер жидкий
1	30	20	25	10	10	5
2	30	20	25	5	10	10
3	30	20	28	10	10	2
4	30	20	25	15	5	5
5	30	30	20	10	5	5

Количество добавляемой влаги менялось в зависимости от количества глины для получения необходимой для формовки изделия консистенции. Формовка проводилась вручную. Полученные «кирпичики» оставили для 10 дней для сушки при комнатных условиях.

Следующим этапом было определение плотности получившихся изделий, их прочности на раздавливание и теплоизоляционных свойств. Плотность изделий определили по объёму изделия и его массе. Прочность на раздавливание – с помощью специального пресса. Значение коэффициента теплопроводности было рассчитано по известному значению плотности теплового потока, толщины изделия, измеренным значениям температуры по уравнению Фурье: $q = \lambda \frac{(T1-T2)}{\delta}$, где q-плотность теплового потока, Вт/м^2; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К; T1, T2 – температура, °С. Применявшееся оборудование и приборы показаны на рисунке 2.



а б в

Рис. 2 – Оборудование и приборы: а – электронные весы, б – лабораторный пресс, электрическая плита, набор термопар, измеритель температуры электронный.

Полученные значения плотность, прочности на раздавливание и коэффициента теплопроводности приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Свойства теплоизоляционного материала на основе электросталеплавильной пыли

№	Плотность, г/см^3	Прочность, кгс	К-т теплопроводности, Вт/м·К
1	1,424	280	0,21
2	1,417	481	0,22
3	1,255	382	0,25
4	1,407	552	0,23
5	1,123	375	0,29

Вывод. Определили значения плотности, прочности на раздавливание и коэффициента теплопроводности для пяти образцов теплоизоляционных материалов на основе сталеплавильной пыли. Сильнее всего отличалась величина прочности образцов. наибольшее значение плотности соответствует образцу 4, а наименьшее – образцу 1. Наибольшее значение плотности установлено у образца 1, а наименьшее – у образца 5. Значение теплопроводности образцов находилось в пределах 0,21-0,29 Вт/м·К. Наилучшее (то есть меньшее) значение коэффициента теплопроводности у образца 1, а хуже всего (самое большое значение теплопроводности из пяти образцов) – образец 5. Таким образом, наилучшим образцом по комплексу рассмотренных свойств явился образец 4. Необходимо совершенствовать методику эксперимента и продолжать исследования по определению оптимального состава сухой смеси для получения теплоизоляционных материалов с использованием вторичных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочаров, А. И., & Лебедев, С. Н. (2021). Переработка отходов металлургических предприятий: современное состояние и перспективы. Журнал металлургии, 45(3), 215-230.
2. Кузнецова, Е. Л., & Федоров, М. К. (2019). Экологические аспекты использования отходов для производства теплоизоляторов. Экология и промышленность России, 23(5), 32-37.
3. Исаев, Р. Р., & Горшков, Л. А. (2022). Технологические процессы переработки отходов металлургии. Научные работы РУДН, 28(1), 44-51.
4. Орлов, Э. В. (2019). Экономическая эффективность использования отходов в производстве теплоизоляции. Экономика и управление, 29(6), 204-210..
5. Петров, В. В., & Смирнов, И. А. (2020). Теплоизолирующие материалы на основе вторичных ресурсов. Строительные материалы, 62(12), 98-105.
6. Смирнова, Н. А., & Дьяков, И. В. (2022). Применение вторичных материалов в строительстве: тенденции и инновации. Вестник строительной науки, 19(3), 112-118.
7. Кузнецова, Е. Л., & Федоров, М. К. (2019). Экологические аспекты использования отходов для производства теплоизоляторов. Экология и промышленность России, 23(5), 32-37.
8. Сергеева, О. П. (2021). Влияние теплоизолирующих материалов на экономику строительства. Строительная экономика, 15(2), 77-83.
9. Антонов, Н. Д. (2020). Подходы к сравнительному анализу традиционных и новых теплоизолирующих материалов. Журнал строительных технологий, 10(4), 91-99.

СЕКЦИЯ 2 «МАШИНОСТРОЕНИЕ И ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЖИДКОСТНО-АБРАЗИВНОЙ ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ОБРАБОТКИ НЕЗАКРЕПЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ И ПРОЦЕССОВ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ДЕТАЛИ ХИМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ ПУТЕМ ПРОВЕДЕНИЯ НАТУРАЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Жихарев В.П., аспирант 2 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Еременко А.Ю.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Теоретических и прикладных работ, посвященных развитию процессов отделочно-зачистной обработки незакрепленных деталей в абразивных средах достаточно много [1-4].

Тем не менее, остается актуальной задача разработки методов исследования характера взаимодействия между реальными средами на основе агрессивных жидкостей разного состава, концентрации и температуры, насыщенных абразивными частицами, и различными образцами и готовыми изделиями, при всем многообразие конкретных условий работы предприятия, которые необходимо учитывать при:

- проектировании устройств, реализующих принципы обработки в жидкостно-абразивных средах,
- моделировании условий работы деталей, проектируемых и изготавливаемых для химических агрегатов и предполагающих эксплуатацию в условиях, связанных с высокими температурами, наличием абразивных частиц, концентрированных и разбавленных кислот;
- организации входного контроля запасных частей для горного, металлургического и химического оборудования с целью оценки ходимости, абразивной и коррозионной стойкости при проведении НИОКР, НИР, ОПИ вновь изготавливаемых изделий, оценки их качества в условиях изменения поставщиков, в рамках импортозамещения, исключения контрафакта и пр.

На рисунке 1 представлено устройство, позволяющее моделировать различные процессы, характерные для работы деталей и узлов горного, металлургического, энергетического и химического оборудования, а также машиностроительных процессов отделочно-зачистной обработки деталей в жидкостно-абразивных средах.

Рабочая камера 1 выполняется с защитной футеровкой, обеспечивающей необходимую стойкость при работе с абразивной или химической средой.

Скорость вращения ротора 1.1 регулируется частотным преобразователем, обеспечивая необходимую, в условиях эксперимента, скорость движения потока рабочей среды. Через загрузочное окно 1.2 осуществляется монтаж и фиксация образцов 1.2 в виде труб, пластин или подвергаемых обработке деталей.

В буферной камере подготовки среды 2, также выполненной с защитной футеровкой, осуществляется подготовка среды – заливка жидкой фазы в виде основы для жидкостно-абразивной среды или кислот необходимой концентрации (патрубок 2.1), дозированная подача абразивной среды через шиберное устройство (шлюзовой питатель в патрубке 2.5). Управление температурой среды осуществляется термопарами и ТЭНами 2.2. Давление в камеру нагнетается от ресивера через патрубок 2.4, контроль давления осуществляется манометром 2.3.

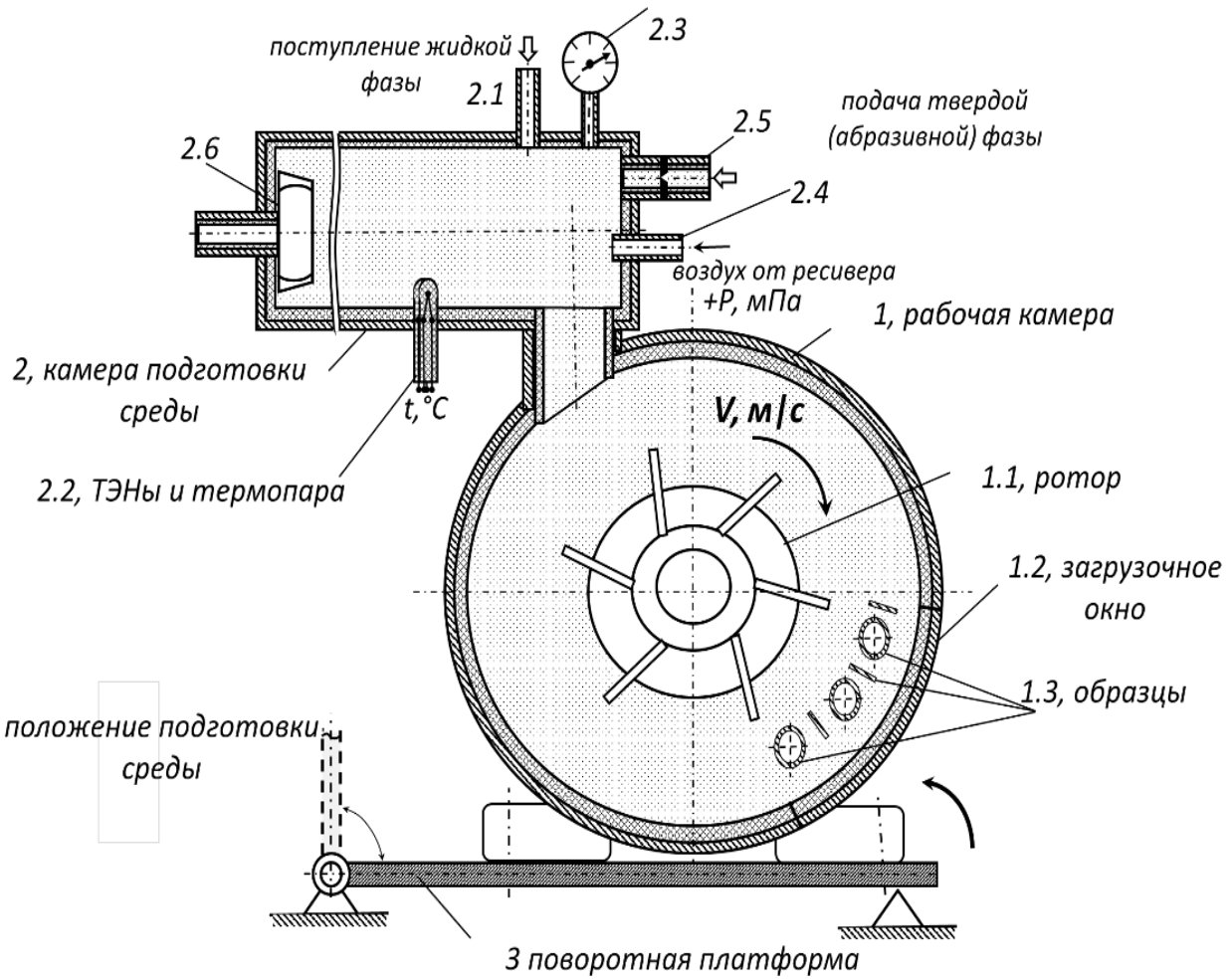
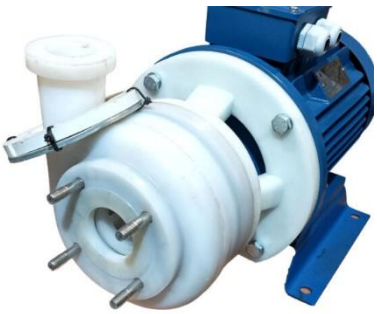


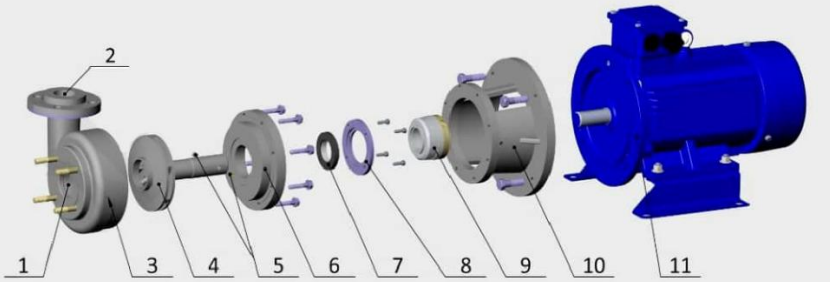
Рис. 1 – Устройство моделирования процессов жидкостно-абразивной обработки и химико-термического абразивного воздействия в рабочем положении.

Подготовка рабочей среды осуществляется в камере, при повороте её в вертикальное положение вокруг шарнира платформы 3. Поддержание среды во взвешенном состоянии осуществляется мешалкой 2.6. После завершения подготовки среды, т.е. заполнения буферной камеры подготовки среды 2.1 и рабочей камеры жидкой и твердой фазами среды, и доведения её до требуемой температуры (при наличии такой необходимости, в соответствии с условиями условиям исследования) включается в дежурный режим вращение ротора 1.1 и производится поворот устройства в рабочее положение, начинается нагнетание требуемого давления. После достижения требуемых условий эксперимента в части количества абразивной составляющей, температуры и давления, увеличивается частота вращения крыльчатки, обеспечивая необходимую для проведения исследований скорость движения потока *V(м/с)*.

Результаты исследования оцениваем по величине металлосъёма с единицы поверхности исследуемой детали (в результате абразивного и коррозионного износа) за единицу времени г/мм^2/ч.

В качестве основы для изготовления экспериментального образца предлагается рассмотреть химические центробежные одноступенчатые консольные моноблочные насосы SIGVA XM-22 (рис.2)





№	Наименование	Материал	№	Наименование	Материал
1	Вход	СВМПЭ	7	Неподвижное кольцо 152	Карбид кремния, PTFE
2	Выход	СВМПЭ	8	Фланец 152	Сталь 12х18н10т
3	Корпус	СВМПЭ	9	Сильфон 152	Карбид кремния, PTFE
4	Рабочее колесо	СВМПЭ	10	Кронштейн	ПП
5	Гужён	Сталь 45	11	Электродвигатель	
6	Крышка	СВМПЭ			

*СВМПЭ - сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности *ПП - Полипропилен

Рис. 2 – Центробежный одноступенчатый консольный моноблочный насос SIGVA XM-22

Предлагаемый центробежный химический насос XM-22 предназначен для перекачивания нейтральных и агрессивных жидкостей (кислот, щелочей и т.д.), едких химических соединений, органических жидкостей, пищевых продуктов и т. д., которые могут быть, с различной температурой, токсичностью, склонностью к полимеризации и налипанию.

Рабочая часть насоса выполнена из термостойкого полиэтилена PE-RT обладающего высокой стойкостью к кислотам, щелочам, растворам солей, органическим растворителям и другим неорганическим агрессивным средам, не подвергается коррозионному растрескиванию, благодаря высокой износостойкости и низкому коэффициента трения материал стоек к абразиву в перекачиваемой жидкости, обладает высокой ударной вязкостью, истираемость при этом, более чем в 5 раз ниже фторопласта.

В качестве целевой задачи авторами ставится разработка и изготовление экспериментального устройства, организация и проведение серии экспериментов, позволяющих установить адекватность полученных результатов и возможность их использования, как для моделирования процессов жидкостно-абразивной отделочно-зачистной обработки, так и для организации входного контроля и прогнозирования долговечности и ходимости вновь разрабатываемых деталей и узлов химического, горного и металлургического машиностроения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергиев А.П. Отделочная обработка в абразивных среда. / Сергиев А.П., Антипенко Е.И.// ТНТ, Ст. Оскол, 1997г., 218с.

2. Гусев Д.В. Еременко А.Ю. Экспериментальное моделирование дискретного силового поля жидкостно-абразивной среды (статья) Сб. трудов пятой регион. науч.- практич. конф. студентов, аспирантов и соискателей. Старый Оскол: СТИ МИСиС, 2009. – Т.2.- С. 188 – 193

3. Кудрявцев Е.В. Еременко А.Ю. Моделирование силового поля жидкостно абразивной среды с использованием методов классической гидроаэродинамики. Матер. науч.-технич. конф. ОАО «ОЭМК» - Старый Оскол, 2010. -С. 152 – 155.

4. Крутьев Е.В., Еременко А.Ю. Обработка кварцевых пластин частотных фильтров с использованием устройств, реализующих принцип воздействия силового поля жидкостно-абразивной среды (статья) Матер. науч.-технич. конф. ОАО «ОЭМК» - Старый Оскол, 2010.- С. 149 - 152.

ФИНИШНАЯ РОТОРНАЯ БЕСЦЕНТРОВАЯ ЖИДКОСТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА КРУГЛОГО ПРОКАТА

Жихарев В.П., аспирант 2 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Еременко А.Ю.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Современный уровень машиностроения и приборостроения предъявляет все более высокие требования к качеству поверхности деталей, которое определяют технологичность, трудоемкость и себестоимость изготовления изделий, их потребительские и эксплуатационные характеристики. В то время, как операции механической обработки проката постоянно механизируются и автоматизируются, отделочные операции, роль и доля которых в процессе изготовления изделий непрерывно возрастает, имеют зачастую низкий уровень механизации и автоматизации, с ручной доработкой и отклонениями по качеству.

Так, например, при обработке на бесцентровошлифовальных станках идет затирание, т.н. «заглаживание» поверхностных дефектов в виде трещин, с ручной доработкой после прохождения линии правки и контроля. Объем ручной чистовой доработки металла, после прохождения инспекционного стенда ОТК также остается достаточно высоким.

Таким образом поиск методов совершенствования отделочно-зачистной обработки, отличающихся высокой производительностью, экономичностью и высоким уровнем автоматизации является актуальной и злободневной задачей.

В последние десятилетия наблюдается активное развитие областей металлообработки, связанных с применением высокоинтенсивных технологий отделки поверхностей изделий свободной абразивной средой, одними из наиболее перспективных из них являются методы, связанные с жидкостно-абразивной обработкой. Эти технологии обеспечивают удаление облоев, заусенцев, ржавчины, окалины, достижение требуемой шероховатости поверхности, при этом такой вид обработки позволяет исключить жесткое воздействие на металл и добиться избирательного характера воздействия на поверхность, что важно, например, при обработке как круглых, так и сложных профилей.

Перспективы развития технологий финишной обработки круглого проката также предлагается рассмотреть на основании принципов жидкостно-абразивной отделочно-зачистной роторной обработки

Предлагаемый в статье роторно-абразивный метод обработки поверхности круглого проката, является финишным методом обработки, призванным повысить уровень механизации и автоматизации процесса, повышения интенсивности обработки и качества обрабатываемой поверхности.

Ключевыми областями применения жидкостной-абразивно обработки являются:

- отделка деталей особо сложной конфигурации, удаление окалин, облоев, ржавчины, очистка поверхностей от загрязнения;
- достижение требуемой шероховатости поверхности при соблюдении высокой точности изготовления деталей;
- полирование проката;
- получение чистой поверхности без направленных следов обработки, с созданием наклепа для повышения усталостной прочности;
- получение шаржированных поверхностей с высокой капиллярностью для повышения качества сцепления с различными покрытиями;

Принцип работы роторно-абразивной установки отделочно-зачистной обработки круглого проката (*рисунок 1*): абразивный материал в виде суспензии жидкости и шлифзерна, в рабочей камере 1 со смещенным, относительно подаваемого прутка, центром вращения, приводится во вращательное движение крыльчаткой 2.

Предварительно подготовленная суспензия подается в буферную камеру 3, откуда винтовым приводом поршня 4, перемещается в рабочую камеру 1. Вращение мешалки 5 обеспечивает поддержание среды во взвешенном состоянии.

Обрабатываемое изделие, с предварительно подготовленной торцевой фаской, подается к рабочей камере 3-мя приводными подводящими направляющими роликами 6, расположенными под углом 120^0 к оси заготовки и обеспечивающими ей поступательное движение к камере и вращательное движение вокруг собственной оси. При приближении заготовки к входному уплотнительному узлу 8, она взаимодействует с оптическим датчиком 9, через несколько секунд, подающим сигнал на включение привода поршня 4, обеспечивающего автоматическое перемещение жидкостно-абразивной среды из буферной камеры в рабочую из позиции 1 к позиции 2.

Как только заготовка дойдет до выходного уплотнительного узла 10, начнется полное заполнение рабочей камеры, вращающаяся в дежурном режиме крыльчатка 2 разгоняется, инициируя движение потока жидкостно-абразивной среды радиально к заготовке, вращающейся подводящими 6 и отводящими 7 роликами.

Позиционированием поршня, обеспечивается создание избыточного давления в рабочей камере, интенсивность обработки поверхности при этом возрастает. После прохождения через камеру всей заготовки и выхода заднего торца из контакта с подающими направляющими роликами, и входа в его в рабочую камеру, снова срабатывает фотометрический датчик 9, обеспечивающий включение привода, отводящего поршень из рабочей позиции, перемещая жидкость в буферную камеру, ниже уровня вращения крыльчатки 2, скорость вращения крыльчатки при этом снижается до дежурной. После взаимодействия с оптическим датчиком 11, можно подавать новую заготовку.

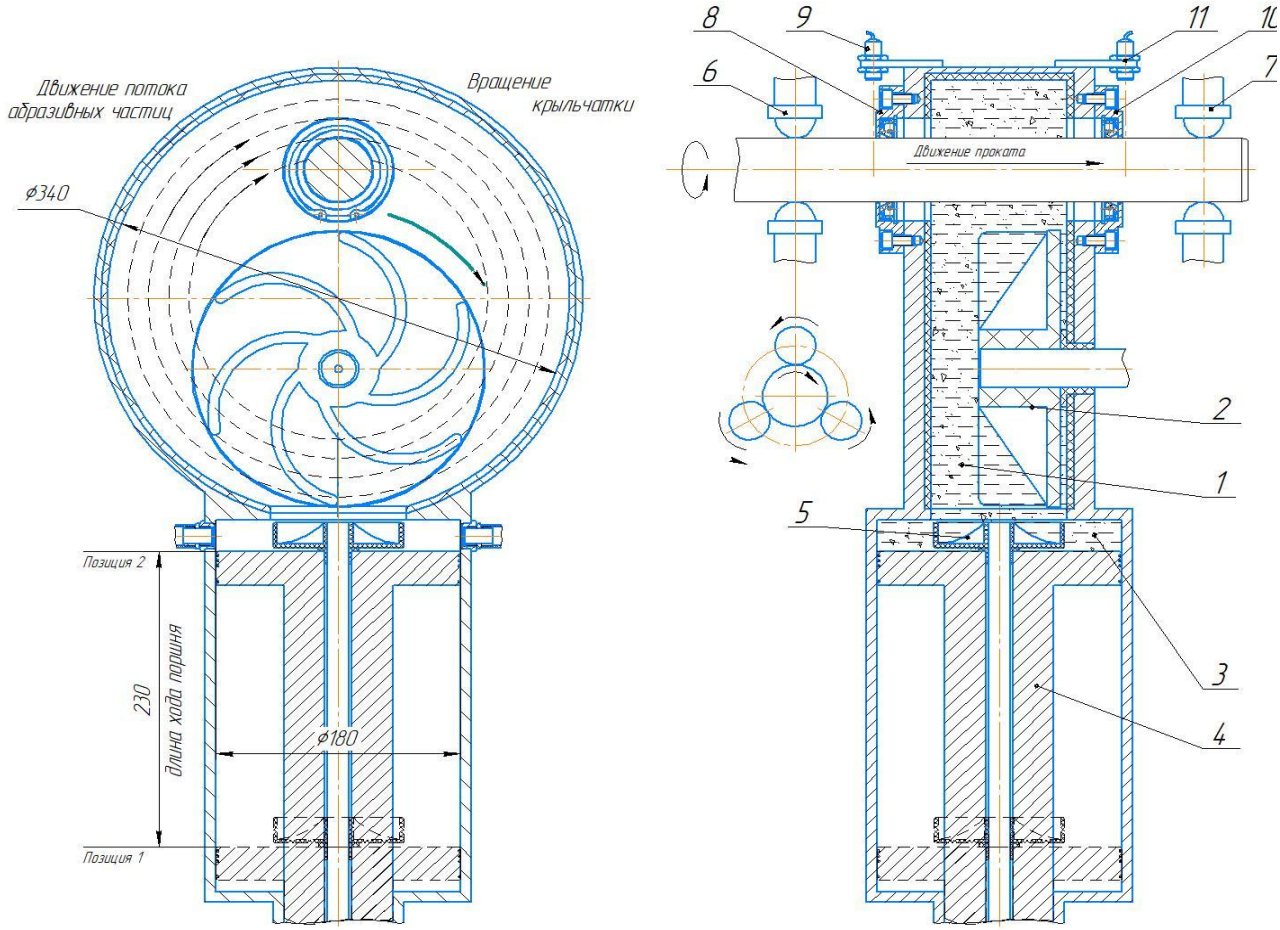


Рис. 1 – Принцип работы роторной бесцентровой жидкостно-абразивной отделочно-зачистной установки обработки поверхности сортового проката

Таким образом, обработка поверхности проката осуществляется в результате воздействия движущихся с высокой скоростью, в составе рабочей среды с дополнительным избыточным давлением, абразивных частиц, ключевыми факторами в эксперименте, влияющими на качество обработки, предположительно являются:

- скорость вращения крыльчатки (оптимально 750-1000 об/мин);
- крупность и состав абразивных частиц (купершлак (copper slag), никельшлак (nickel slag 0,5-5 мм.);
- концентрация абразива в рабочей среде (40-70% по массе),
- время обработки (нахождения поверхности заготовки под воздействием), обеспечиваемых частотой вращения крыльчатки и скоростью прохождения проката через камеру;
- избыточное давление в рабочей среде (1-10 Ат);

Дополнительное увеличение скорости вращения и доли абразивных частиц в среде с одной стороны позволяют значительно повысить скорость съёма материала, с другой стороны увеличивают вязкость и снижают подвижность среды, что требует подбора её оптимального состава с оценкой седиментационной устойчивости, стабилизирующих компонентов и ПАВ.

Также необходимо рассмотреть вопросы конструктивных параметров установки – размеры рабочей камеры и материал ее футеровки, материал и форму крыльчатки, угол атаки лопастей, схему магнитной сепарации суспензии, конструкцию уплотнительных узлов и пр. и энергетических и экономических аспектов обработки.

Ключевой задачей авторов на данном этапе является постановка серии экспериментов, позволяющих подобрать оптимальные технологические и конструктивные параметры обработки, позволяющие осуществлять финишную отделку с высокими производительностью, качеством и шероховатостью поверхности в требуемом заказчиком диапазоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко А.Ю. Оптимизация технологических и конструктивных параметров струйной жидкостно-абразивной обработки в машинах с горизонтальной осью вращения камеры, Белгород, 2007г., 189с.
2. Сергиев А.П. Отделочная обработка в абразивных среда. / Сергиев А.П., Антипенко Е.И.// ТНТ, Ст. Оскол, 1997г., 218с.
3. Билик, Ш.М. Абразивно-жидкостная обработка металлов / Ш.М. Билик. – М.: Машгиз, 1960. – 198 с.
4. Проволоцкий, А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А.Е Проволоцкий – К.: Техника, 1989. – 177 с.

ПЕРИОД СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ВИБРОРЕЗАНИЕМ ДЕТАЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН

Качановский А.Р., студент 3 курса, **Яблоков Д.А., Майкова К.Ф.,** студенты 2 курса
Научный руководитель – старший преподаватель, **Титова А.П.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Особенность условий эксплуатации горных машин предъявляет высокие требования к механическим характеристикам сталей, в частности к стали 110Г13Л, широко используемой для изготовления ответственных деталей. В условиях ремонтных производств эффективно применяется электродуговая наплавка, однако наплавленные поверхности имеют неравномерную структуру, сходную с литейной коркой, что затрудняет их последующую механическую обработку.

Одним из перспективных методов обработки таких поверхностей является виброточение — процесс резания с наложением на инструмент гармонических колебаний маятникового типа. Данный метод повышает стойкость режущего инструмента и обеспечивает стабильное дробление срезаемого слоя. Ключевое влияние на эффективность процесса оказывают амплитудно-частотные параметры колебаний, формирующие вибрационную скорость, ускорение и рассеяние энергии в зоне резания.

В связи с этим целью исследования является установление зависимости периода стойкости режущего инструмента от параметров виброрезания при обработке наплавленных поверхностей деталей горных машин. Для достижения поставленной цели решаются задачи: анализ влияния вибрационных скорости и ускорения на стойкость инструмента, построение математической модели, а также оценка адекватности модели экспериментальным данным.

Из анализа результатов работы [1] было отмечено соответствие максимального периода стойкости режущего инструмента T = 68 мин и скорости резания, равной υ = 80 м/мин. Наблюдение такого соответствия было отмечено при следующих амплитудно-частотных параметрах: A = 70 мкм и f = 100 Гц, инструментальный материал твердый сплав марки Т5К10.

Дальнейшие исследования, направленные на изучение зависимости вибрационного точения и стойкости режущего инструмента позволили определить доминирующие факторы, в наибольшей степени оказывающие влияние: скорость резания и вибрационное ускорение. В уравнение математической модели, которое позволяет описать период стойкости инструмента, входили только эти два фактора [1, 2].

Последующие исследования, направленные на оптимизацию математической модели, позволили сформулировать вывод, что рассеяние энергии в зоне резания при вибрационном воздействии также оказывает значительное влияние на ее адекватность.

Следовательно, в основе разработки модели целесообразно учесть вибрационное воздействие факторов в зоне резания, оказывающих наибольшее влияние: вибрационных скорости и ускорения, и рассеяния вибрационной энергии в зоне резания. Значения коэффициентов при факторах ОФВВ F (A, ω) были найдены на основе массива данных, полученных в результате экспериментов, с применением метода полинома и представлены в уравнении:

$$Y = T = 25{,}46 + 22{,}75(A\omega) + 0{,}36(A\omega^2) - 14129{,}56(A^2\omega^2) \quad (1)$$

где $A\omega$ – виброскорость;

$A\omega^2$ – виброускорение, характеризует воздействие вибрационных сил в зоне резания при точении;

$A^2\omega^2$ – параметр, обуславливающий влияние энергии рассеяния колебаний в зоне резания при точении [3].

Последующее изучение математической модели, по определению характера ОФВВ, были направлены на определение степени долевой зависимости каждого из параметров колебаний, которые оказывали максимальное воздействие на составляющие факторы функции.

В результате проведения параметрических расчетов при изменении амплитуды и частоты колебаний. Значения, на основе которых осуществлялись расчеты уравнения математической модели, входили в диапазон, соответствующий максимальному периоду стойкости режущего инструмента, и ограничивались максимально возможными техническими параметрами экспериментальной установки для вибрационного точения.

Из результатов вычислений параметров уравнения модели отмечено, что достижение максимального периода стойкости режущего инструмента возможно при обеспечении определенного соотношения низких значений амплитуд и высоких значений частот колебаний.

Сравнение полученных экспериментальных и расчетных значений позволило сформировать вывод об адекватности математической модели. Полученные в ходе проведения экспериментов значения стойкости режущего инструмента не выходили за границы доверительного интервала, рассчитанного по критерию Стьюдента. Полученные данные позволят определить направление дальнейших исследований, направленных на оптимизацию математической модели [3].

Теоретические исследования математической модели зависимости шероховатости от параметров виброрезания показали, что с увеличением величины вибраций, шероховатость обработанной поверхности ухудшается, в отличие от периода стойкости инструмента, который увеличивается [2, 3].

В результате проведённых исследований установлено, что доминирующими факторами, влияющими на период стойкости инструмента при виброточении наплавленных поверхностей, являются скорость резания, вибрационное ускорение, а также рассеяние энергии в зоне резания. Разработана математическая модель, описывающая период стойкости T в зависимости от виброскорости, виброускорения и параметра рассеяния энергии. Коэффициенты модели определены методом полинома на основе экспериментальных данных.

Параметрические расчёты показали, что максимальная стойкость инструмента достигается при низких амплитудах и высоких частотах колебаний. Адекватность модели подтверждена сравнением расчётных и экспериментальных значений (критерий Стьюдента). Теоретические исследования также показали, что увеличение вибраций ухудшает шероховатость обработанной поверхности, но повышает стойкость инструмента.

Таким образом, применение вибрационного точения при обработке наплавленных поверхностей деталей горных машин является эффективным способом повышения стойкости режущего инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергиев А. П., Владимиров А. А., Швачкин Е. Г. Влияние параметров виброрезания на период стойкости инструмента // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2016. №5 (319). С. 96 – 101.

2. Sergiev A. P., Vladimirov A. A., Shvachkin E. G. Optimization of Vibrational Cutting // Russian Engineering Research, 2017, Vol. 37, No. 6, pp. 505 – 508.

3. Владимиров А. А. Математическая модель зависимости шероховатости от параметров виброрезания при чистовом точении // Молодежь и научно-технический прогресс: Сборник докладов X международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4 т. Т. 1. / Сост.: В. Н. Рощупкина, В. М. Уваров [и др.]. – Губкин; Старый Оскол: ООО «Ассистент плюс», 2017. – С. 43 – 47.

ВЛИЯНИЕ ВИБРОРЕЗАНИЯ НА ПРОЦЕСС ДРОБЛЕНИЯ СТРУЖКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И РЕМОНТЕ ДЕТАЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН

Качановский А.Р., студент 3 курса, **Яблоков Д.А., Майкова К.Ф.,** студенты 2 курса
Научный руководитель – старший преподаватель, **Титова А.П.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Токарная обработка аустенитных сталей, в частности марки 110Г13Л, широко используемой в горном машиностроении, сопровождается образованием непрерывной сливной стружки. Это снижает производительность, ухудшает качество обработанной поверхности и создаёт опасность для персонала. Существующие методы борьбы со сливной стружкой (плазменный нагрев, применение поверхностно-активных веществ, предварительное деформирование) требуют значительных затрат и не всегда эффективны.

Эффективной альтернативой является вибрационное резание в диапазоне низких частот (до 200 Гц), обеспечивающее принудительное дробление стружки за счёт наложения на режущий инструмент гармонических колебаний. Решающее значение при этом имеют амплитуда и частота колебаний, а также соотношение вибрационной скорости и скорости резания.

Сталь 110Г13Л находит широкое применение при изготовлении деталей горно-обогатительного, дробильного, металлургического и транспортного оборудования: корпусов и футеровок мельниц, щёк и конусов дробилок, гусеничных траков экскаваторов, зубьев ковшей, железнодорожных крестовин и других тяжелонагруженных узлов, работающих в условиях ударных нагрузок и повышенного абразивного износа [1–4].

В связи с этим целью исследования является установление закономерностей дробления стружки при вибрационном точении наплавленных поверхностей деталей горных машин. Для достижения цели решаются следующие задачи: анализ влияния амплитуды и частоты колебаний на тип и геометрию стружки, определение условий перехода от сливной стружки к элементной, а также экспериментальное подтверждение полученных зависимостей.

Токарная обработка сталей аустенитного класса типа 110Г13Л, 12Х18Н10Т и др. происходит с постоянным формированием непрерывной, в виде бесконечной ленты, стружки.

В настоящее время существуют различные способы обработки, такие как вибрационное резание с различными частотами колебаний режущего инструмента, обработка с использованием опережающего пластического деформирования, плазменно-механическая обработка, обработка с предварительным подогревом, использование в процессе резания поверхностно-активных материалов. Применение перечисленных методов обработки, за исключением вибрационного резания в диапазоне низких частот (до 200 Гц), требует значительных материальных затрат и энергоресурсов. Представленные методы обработки не позволяют получать высокое качество обработанной поверхности при заданном уровне шероховатости.

Амплитудно-частотные параметры, в виде вибрационного воздействия, значительно влияют на свойства и геометрию стружки обрабатываемого материала. Из результатов работ коллектива авторов, направленных на изучение виброточения криогенной конструкционной стали марки 12Х18Н10Т, которая относится также у аустенитному классу, известны различные типы стружек, сформированные на разных режимах колебаний (рисунок 1).

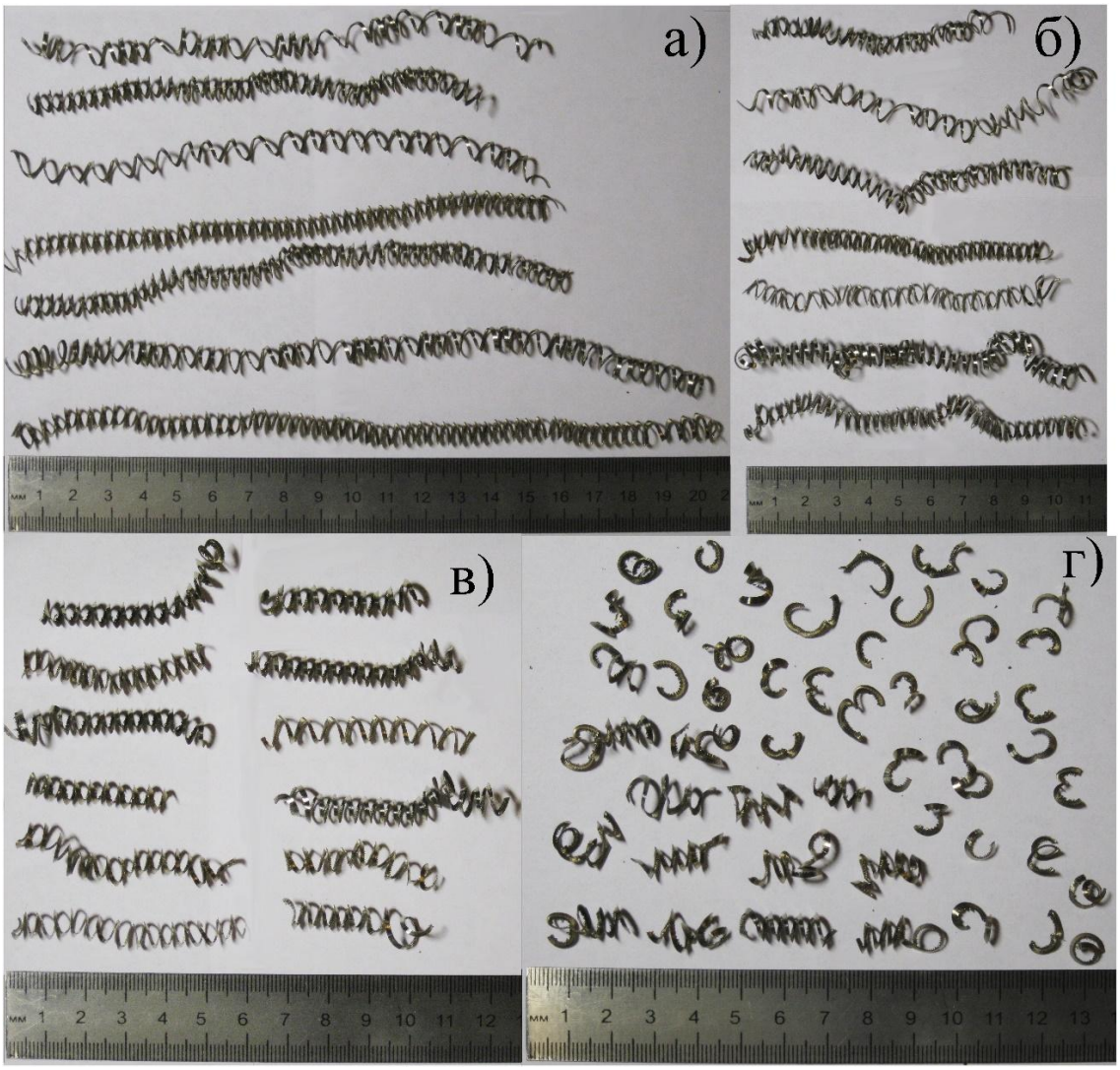


Рис. 1 – Типы стружек:
а – традиционное точение; б – вибрационное точение (А = 5…10 мкм; f = 5…10 Гц), в – вибрационное точение (А = 30…50 мкм; f = 15…25 Гц), г – вибрационное точение (А = 70…100 мкм; f = 50…70 Гц)

Представленные элементы стружки, при их детальном изучении, свидетельствуют о росте силы вибраций при росте амплитуды колебаний, обуславливают интенсивность процесса стружкодробления.

Эксперименты охватывали большую область значений амплитудно-частотных параметров маятниковых колебаний. Исследование такой области колебаний позволило определить наиболее зависимые факторы процесса образования и дробления стружки.

Интенсивность процессов стружкообразования и стружкодробления полностью зависима от вибрационной скорости и скорости резания. Стоит отметить, что необходимо обеспечивать соотношение, при котором вибрационная скорость значительно больше скорости резания. Поддержание такого соотношения позволяет сформулировать вывод о том, что при генерации колебаний в зоне резания, происходит процесс точения на сверхвысоких скоростях с одновременным обеспечением подобного процесса образования стружки. Подтверждение данного вывода можно найти на фрагментах стружки при резании конструкционной криогенной стали аустенитного класса 12Х18Н10Т, которые изображены на рисунке 2. Режимы резания, на которых осуществлялась обработка были следующими:

- скорость резания 82 м/мин;
- подача на оборот 0,26 мм/об;

– глубина резания 0,5 мм.

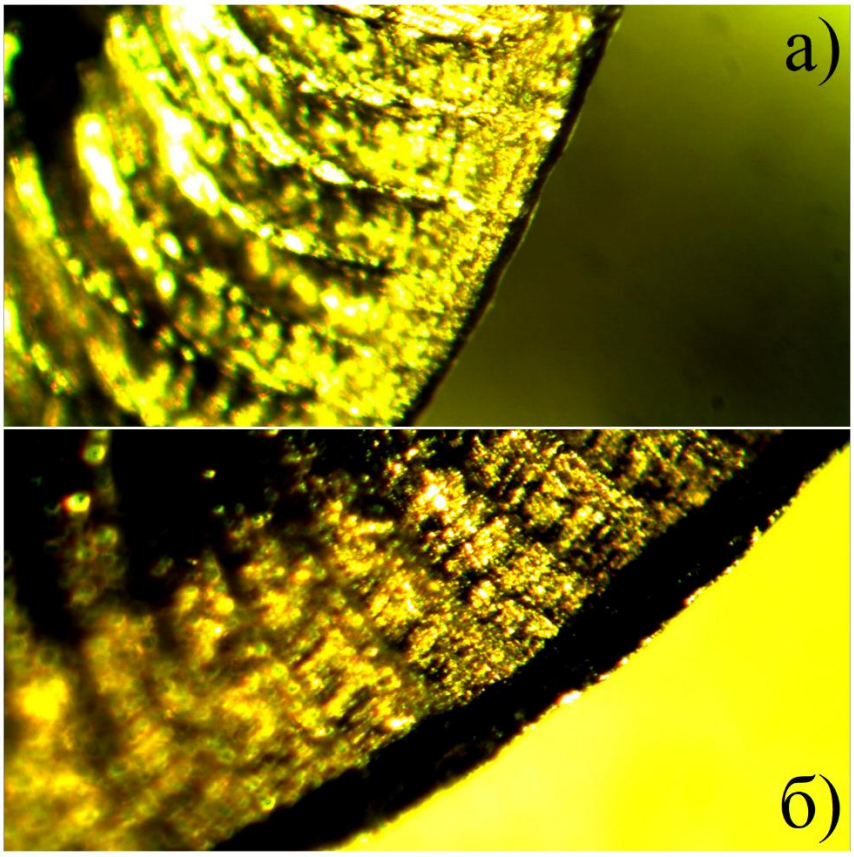


Рис. 2 – Фотографии элементов стружки:
а – при точении без вибраций; б – при вибрационном точении
(А = 5…10 мкм; f = 5…10 Гц)

Детальное рассмотрение представленных элементов стружки позволило определить величину оплавления края стружки при точении с генерацией колебаний в зоне резания. Измерение величины оплавления показало отличие около 2…3 мм, при колебаниях оплавление меньше.

В момент совершения рабочего колебательного движения происходит суммирование вибрационной скорости и скорости резания, что обуславливает возникновения процесса точения на сверхвысоких скоростях.

На основании проведённых экспериментальных исследований дробления стружки при вибрационном точении наплавленных поверхностей деталей горных машин правомерно следующее:

- установлено, что традиционная токарная обработка аустенитных сталей 110Г13Л и 12Х18Н10Т сопровождается формированием непрерывной сливной стружки;
- амплитудно-частотные параметры колебаний определяют тип образующейся стружки: с увеличением амплитуды и частоты происходит переход от сливной стружки к элементной;
- интенсивность процессов стружкообразования и стружкодробления зависит от соотношения вибрационной скорости и скорости резания. При обеспечении условия, когда вибрационная скорость значительно превышает скорость резания, в зоне резания реализуется процесс точения на сверхвысоких скоростях;
- экспериментально подтверждено, что при вибрационном точении величина оплавления края стружки уменьшается на 2–3 мм по сравнению с точением без вибраций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергиев А. П., Швачкин Е. Г. Обработка труднообрабатываемых материалов на примере стали 110Г13Л [Текст] / Сергиев А. П., Швачкин Е. Г. // Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения – Technology – 2000 // Тр. междунар. науч.-техн. конф. – Орел: ОрелГТУ, 2000. – С. 199 – 201.

2. Maroju Naresh Kumara, Kanmani Subbu S., Vamsi Krishna P. and Venugopal A. Vibration Assisted Conventional and Advanced Machining: A Review // 12th GLOBAL CONGRESS ON MANUFACTURING AND MANAGEMENT, GCMM 2014. Procedia Engineering, Vol. 97, 2014, P. 1577 – 1586.

3. Сергиев А. П., Волошин С. В., Швачкин Е. Г. Вибрационное резание стали 110Г13Л [Текст] / Сергиев А. П., Волошин С. В., Швачкин Е. Г. // Вестник машиностроения. – 2000. – № 12. – С. 50 – 52.

4. Швачкин Е. Г. Промышленная обработка стали 110Г13Л [Текст] / Швачкин Е. Г. // Тяжелое машиностроение. – 2002. – № 11. – С. 20 – 21.

ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ОТ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН

Качановский А.Р., студент 3 курса, **Яблоков Д.А., Майкова К.Ф.,** студенты 2 курса
Научный руководитель – старший преподаватель, **Титова А.П.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Эксплуатация горных машин в условиях высоких нагрузок и абразивного износа требует применения сталей с особыми механическими свойствами, в том числе аустенитной стали 110Г13Л. Данная марка широко используется для изготовления футеровок мельниц, щёк дробилок, гусеничных траков и других ответственных деталей [1–4]. При ремонте такого оборудования часто применяют электродуговую наплавку, формирующую поверхности, близкие по структуре к литейным. Механическая обработка наплавленных зон затруднена, что делает актуальным поиск эффективных методов резания.

Одним из перспективных подходов является вибрационное точение — наложение на режущий инструмент гармонических колебаний маятникового типа. При этом процессы, протекающие в зоне резания, существенно отличаются от традиционного точения. В частности, меняются характер тепловыделения, температурные поля в инструменте и заготовке, а также условия контактного взаимодействия. Эти изменения напрямую влияют на стойкость инструмента и качество обработки, однако остаются недостаточно изученными.

Целью исследования является установление закономерностей распределения температур в зоне резания при вибрационном точении наплавленных поверхностей деталей горных машин. исследование полей температур при вибрационном точении наплавленных поверхностей деталей горных машин. Для этого с помощью метода конечных элементов в программном комплексе DEFORM 2D выполнено моделирование двух процессов: традиционного резания и виброрезания с заданными амплитудно-частотными параметрами.

Так как вибрационное резание является производительным методом резания заготовок из труднообрабатываемых материалов, которые широко применяются в проектировании и последующем производстве изделий оборудования, предназначенного для переработки руды и производства металлов. Назначение оптимальных параметров виброточения позволяет увеличить период стойкости резца и обеспечить процесс надежного стружкодробления. Резание труднообрабатываемых материалов точением с наложением на вершину режущего инструмента маятниковых тангенциальных колебаний, сопровождается образованием в зоне резания противоположных от традиционного точения процессов.

Таким образом, исследование изменения полей температур и напряженно-деформированного состояния инструмента и заготовки в зависимости от параметров вибрационного точения является актуальным. В связи с этим был смоделирован ряд экспериментов по вибрационному точению с помощью метода конечных элементов в программном комплексе DEFORM 2D.

В соответствии с планом экспериментов было смоделировано два процесса точения, режимы резания которых соответствовали проведенным натурным опытами [5 – 11]:

- традиционное резание: υ = 88 м/мин, t = 0,5 мм, S_o = 0,26 мм/об;
- виброрезание: υ = 88 м/мин, t = 0,5 мм, S_o = 0,26 мм/об, амплитудно-частотные параметры колебаний – A = 100 мкм и f = 50 Гц.

Заготовка – аустенитная криогенная конструкционная сталь по американскому стандарту AISI-321, которая является близким аналогом стали 12Х18Н10Т. Материал инструмента – твердый сплав WC (карбид вольфрама). Заготовке придавались свойства пластичного материала с твердость по Бринеллю 170 HB, а инструмент обладал свойствами «абсолютно» жесткого тела. Начальная температура заготовки и инструмента составляла 20 °C [5 – 11].

По результатам моделирования процессов точения было установлено, что максимальная температура присуща процессу вибрационного резания, где T = 356 °C, в отличие от резания без колебаний, где T = 313 °C. Распределение температуры в контактной зоне для двух процессов резания различно. К примеру, для резания без колебаний температура в теле стружки составляла 200…240 °C, а при вибрационном резании – 190…230 °C. Стоит отметить, что в зоне контакта срезаемого слоя заготовки с поверхностью резца температура составляла 230…270 °C. Глубина распределения тепла в теле режущего инструмента заметных отличий не имела. Такое явление обуславливается температурой зон нагрева по главным поверхностям резца (рисунок 1).

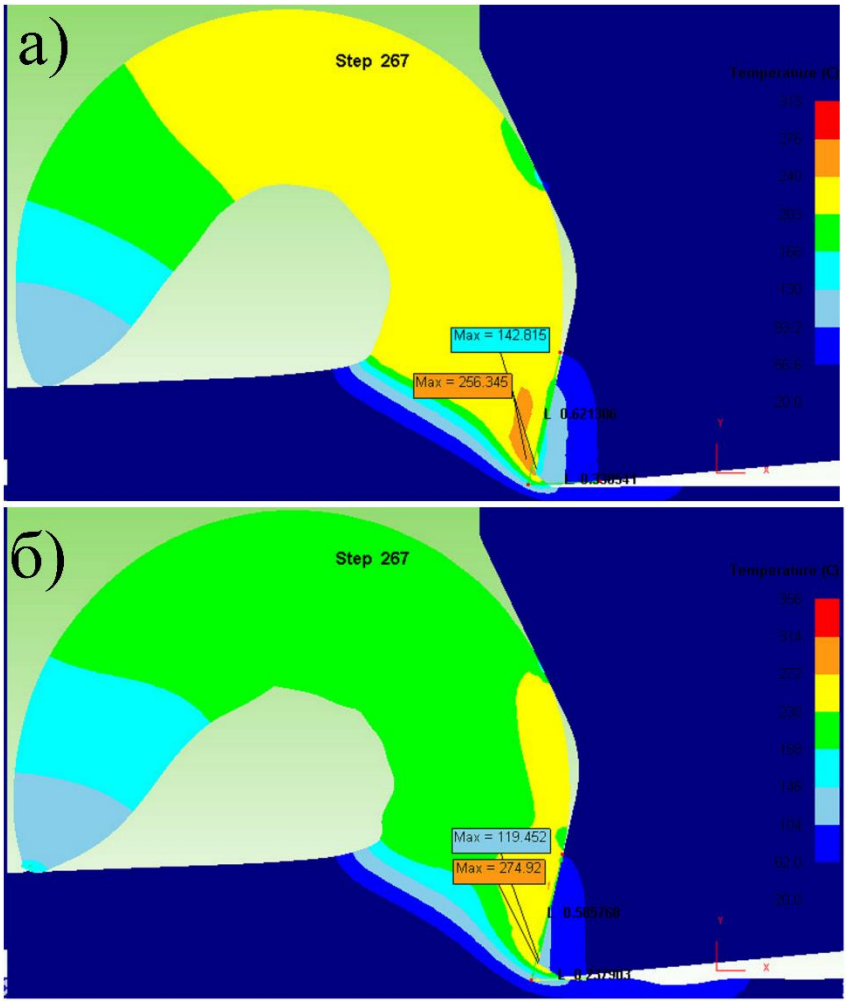


Рис. 1 – Температура в зоне резания:
а – при точении; б – при виброточении

В результате анализа зон распределения температур на поверхности режущего инструмента было установлено, что при традиционном резании существует три участка нагрева, с общей температурой в диапазоне от 56 до 166 °C. При вибрационном резании вершина режущего инструмента имеет два участка нагрева, с температурой в диапазоне от 62 до 146 °C. Такая особенность объясняется прерыванием постоянного контакта материала заготовки с режущим инструментом. Таким образом, снижение температуры на вершине режущего инструмента способствует увеличению его периода стойкости.

Анализ полученных расчетных значений температуры в зоне резания и на внутренней поверхности срезаемого слоя материала допускает сформулировать утверждение об оплавлении срезанного слоя материала в виде стружки [9]. Во время осуществления процесса резания постоянный контакт инструмента с материалом заготовки обеспечивает постоянную высокую температуру в теле стружки (рисунок 3а), в свою очередь такая температура

обеспечивает ее пластичность и сливной тип. При вибрационном резании происходит периодическое прерывание постоянного контакта режущего инструмента с обрабатываемой заготовкой. Такое явление обуславливает уменьшение тепла в теле стружки, снижение ее пластичности и изменение типа.

Из результатов моделирования процессов точения очевидно, что использование вибрационного резания способствует снижению температуры на вершине резца. Необходимо учесть интенсивность снижения тепла, которая зависит от определенного оптимального соотношения амплитуды и частоты колебаний вибрационного резания. Таким образом, для обеспечения снижения температуры амплитуда колебаний составляет А = 80…120 мкм, а частота колебаний, зависящая от скорости резания, должна находиться в соотношении с частотой вращения заготовки не менее чем 5:1.

В результате компьютерного моделирования методом конечных элементов процессов резания с колебаниями режущего инструмента и без, правомерно следующее:

– расчет усилий и значений величины пластических деформаций удаляемого материала с заготовки при моделировании вибрационного точения нашли подтверждение их изменения от колебательного воздействия режущего инструмента с материалом заготовки, по периодическому закону [12];

– результатами моделирования напряжений в прирезцовой зоне подтверждается явление создания условий для исчерпания запаса пластичности обрабатываемого материала за счет периодического вибрационного воздействия [12];

– вибрационное точение снижает степень износа при обработке наплавленных поверхностей и сталей аустенитного класса;

– вибрационное точение обеспечивает прерывание диффузионно-вязкого взаимодействия контактной зоны инструмента и заготовки, обеспечивая при этом увеличение периода стойкости инструмента, которое подтверждается результатами расчетов температуры в зонах контакта инструмента с обрабатываемой заготовкой и в части вершины режущего инструмента [13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергиев А. П., Швачкин Е. Г. Обработка труднообрабатываемых материалов на примере стали 110Г13Л [Текст] / Сергиев А. П., Швачкин Е. Г. // Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения – Technology – 2000 // Тр. междунар. науч.-техн. конф. – Орел: ОрелГТУ, 2000. – С. 199 – 201.
2. Maroju Naresh Kumara, Kanmani Subbu S., Vamsi Krishna P. and Venugopal A. Vibration Assisted Conventional and Advanced Machining: A Review // 12th GLOBAL CONGRESS ON MANUFACTURING AND MANAGEMENT, GCMM 2014. Procedia Engineering, Vol. 97, 2014, P. 1577 – 1586.
3. Сергиев А. П., Волошин С. В., Швачкин Е. Г. Вибрационное резание стали 110Г13Л [Текст] / Сергиев А. П., Волошин С. В., Швачкин Е. Г. // Вестник машиностроения. – 2000. – № 12. – С. 50 – 52.
4. Швачкин Е. Г. Промышленная обработка стали 110Г13Л [Текст] / Швачкин Е. Г. // Тяжелое машиностроение. – 2002. – № 11. – С. 20 – 21.
5. Талантов Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.
6. Криворучко Д. В. Основи 3D-моделювання процесів механічної обробки методом скінченних елементів: навчальний посібник / Д. В. Криворучко, В. О. Залога, В. Г. Корбач. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 208 с.
7. Корендясев Г. К. О конечно-элементном моделировании процесса обработки металлов резанием (часть 2) // Вестник научно-технического развития. 2015. № 3 (91). С. 14 – 24.

8. Горбунов И. В., Ефременков И. В., Леонтьев В. Л., Гисметулин А. Р. Особенности моделирования процессов механической обработки в CAE-системах // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 4 (4). С. 846 – 853.

9. Владимиров А. А., Сергиев А. П., Макаров А. В. Моделирование процесса вибрационного точения в программном комплексе DEFORM // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 5. С. 82 – 85.

10. Ma L., Chen Y., Wu J., Hou Y. Research on the Vibration Cutting and the Simulation // Advanced Materials Research, 2011, Vol. 174, pp. 286 – 289.

11. Jemielniak K., Nejman M., Sniegulska-Gradzka D. Identification of Dynamic Cutting Force Coefficients by Direct Measurement of Cutting Forces During Vibratory Cutting // Journal of Machine Engineering, 2016, Vol. 16, No 3, pp. 47 – 57.

12. Владимиров А. А., Сергиев А. П., Макаров А. В. Моделирование процесса вибрационного точения в программном комплексе DEFORM // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 5. С. 82 – 85.

13. Талантов Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.

ЗАВИСИМОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕМЕНТИРОВАННЫХ СЛОЕВ ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИИ В АРГОНОВОЙ МЕЖЭЛЕКТРОДНОЙ СРЕДЕ

Скрипцов Д.Р., Леонов С.Д., студенты 4 курса
Научный руководитель – ассистент, **Кудинов Е.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Одним из методов повышения поверхностной прочности и износостойкости является процесс электроискрового легирования. В зависимости от применяемого электродного материала возможно формировать на поверхностях деталей покрытия, обладающие различными физико-механическими характеристиками. Электроискровое легирование имеет свои особенности при формировании покрытий. Например, при повышенных требованиях к микрогеометрии рабочих поверхностей деталей, шероховатость поверхности в ряде случаев может быть недостаточной. В связи с чем, необходимо добиваться снижения шероховатости поверхностей, подвергшихся электроискровому упрочнению. [1]

Фактором обеспечения качества упрочнения поверхностного слоя перспективно применение различных межэлектродных сред, что будет способствовать защите от окисления и, соответственно, формированию покрытий с высокой степенью чистоты. Межэлектродными средами перспективно будет применение таких газов как аргон, гелий и диоксид углерода. Данные газы широко применяются для защиты от воздействия внешней среды в процессах сварки и наплавки. [2]

В качестве материала для формирования цементируемого слоя была выбрана сталь марки Ст3. Для цементирования поверхностей образцов использовались графитовые электроды типа ВДК и ГЭ. Электрод ВДК – воздушно-дуговой круглый, предназначен для воздушно-дуговой резки металлов, для сварки металлов и других работ. Электрод ГЭ – графит электродный, малозольный, крупнозернистый общего назначения, по физико-механическим свойствам и способу получения схож с материалом графитированых электродов, применяемых в электротермических печах. Характеристики электродов представлены в таблице 1

Таблица 1 – Характеристики электродов

Марка электрода	ГЭ	ВДК
Удельное электрическое сопротивление, мОм×м, не более	21	0,1
Механическая прочность при изгибе, МПа, не менее	22	12
Содержание золы, %, не более	1,5	1,5
Плотность, г/см^3	1,5	2,0

Для проведения экспериментов применялась установка электроискрового легирования Alier-Metal G53. Технические характеристики установки позволяют обеспечивать требуемые параметры формируемых цементируемых слоев. Параметры, при которых производилось формирование цементируемого слоя указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры процесса формирования цементируемых слоев

Тип электрода	Площадь формирования слоя, см^2	Режим формирования слоя	Коэффициент энергии	Скорость формирования слоя V, см^2/мин
ГЭ	11,33	7	1,0	0,94
ВДК				0,63

Для формирования слоев в аргоновой межэлектродной среде была произведена модернизация конструкции электрододержателя (рис. 1). Расход газа при формировании цементируемого слоя составил 10 л/мин.

Рис. 1 – Модернизированная установка для электроискрового легирования Alier-Metal G53

Для экспериментов использовались плоские образцы Ø38 мм из стали Ст3. Внешний вид образцов после электроискрового цементирования представлены на рисунке 2.

а б в

Рис. 2 – Внешний вид образцов:
а – до ЭИЛ; б – после ЭИЛ ГЭ; в – после ЭИЛ ВДК;

Полученные результаты экспериментов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты электроискровой цементации.

Тип электрода	Масса образца, г		Масса электрода, г		Толщина образца, мм	Средняя шероховатость покрытия Ra, мкм
	до	после	до	после		
ГЭ	60,420	60,435	15,665	15,605	6,850	Более 12,5
ВДК	61,075	61,085	7,260	7,090	6,375	5,712

При электроискровой цементации электродом типа ГЭ происходил быстрый нагрев заготовки, что негативно сказывалось на шероховатости поверхности. При электроискровой цементации электродом типа ВДК наблюдался быстрый нагрев самого электрода, при этом обеспечивалась низкая шероховатость цементированных слоев и появлялись дефекты в виде пригаров.

Шероховатость образцов, обработанных ГЭ электродами, превышает 12,5 мкм из-за неравномерного переноса материала. Для электродов ВДК шероховатость составляет около 5,712 мкм благодаря малому приросту толщины образца после экспериментов.

Измерения производились по методу Микро-Викерса с нагрузкой 0,05 кг и выдержкой 10 секунд, по схеме измерения от границы сформированного слоя представлены на рисунках 4,5. Полученные значения глубин сформированных слоев и их средние значения твердости по шкалам измерений HV и HRC приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры микроструктуры сформированных слоев образцов

Тип электрода	Глубина сформированного слоя, мкм	Твердость слоя, HRC	Твердость слоя, HV
ГЭ	87,24	46-49	457-496
ВДК	209,14	32-36	317-357

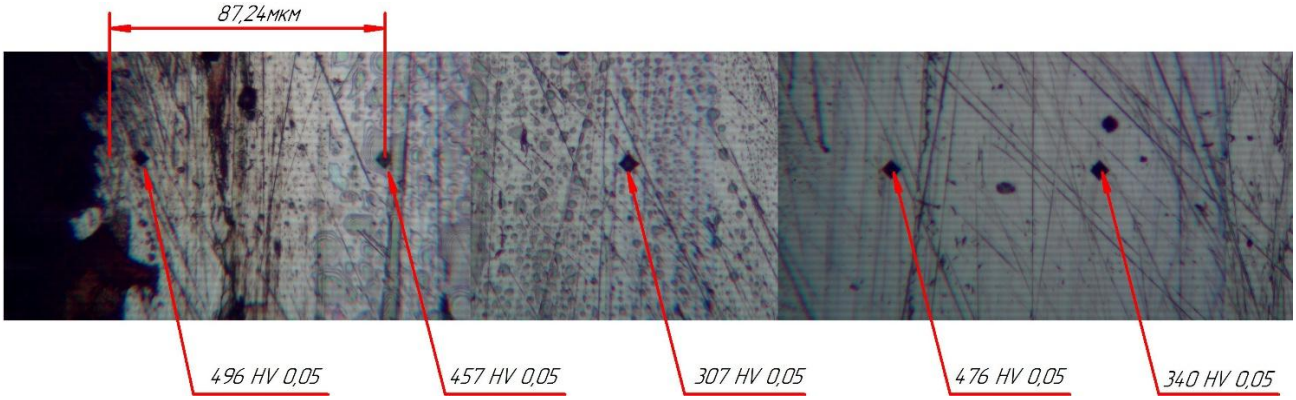


Рис. 3 – Твердость слоя, сформированного электродом типа ГЭ

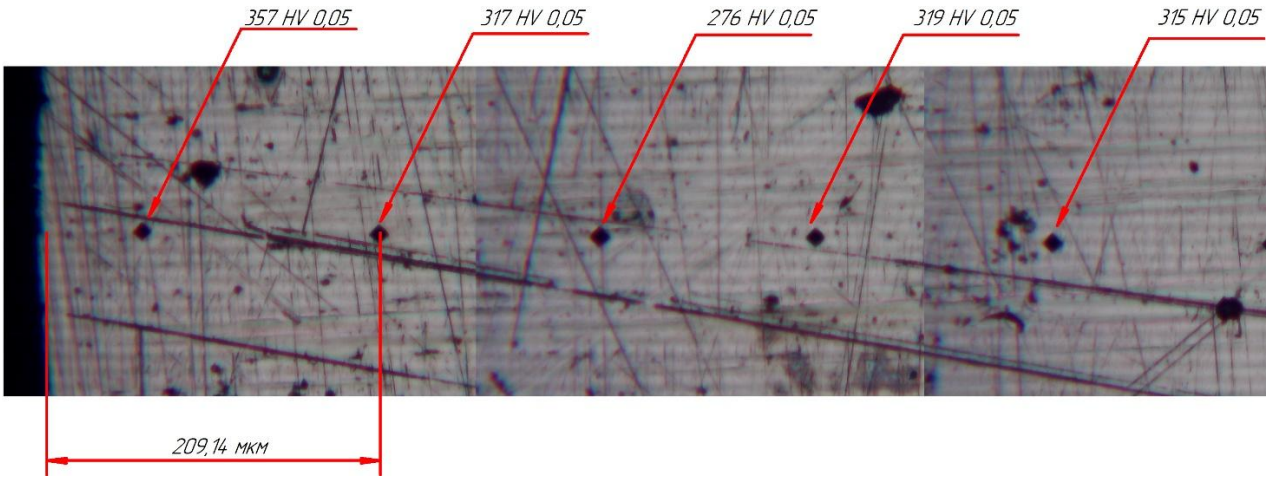


Рис. 4 – Твердость слоя, сформированного электродом типа ВДК

Сформированные слои электродом типа ГЭ имели в 1,4 раза большие значения твердостей слоев, сформированных электродом ВДК, но в 2,4 раза меньшее значение глубины слоя. Слои, полученные при использовании электрода типа ВДК, имели лучшие параметры шероховатости. Защитная среда аргона благоприятно воздействовала на процесс формирования слоев, но привело к значительному уменьшению твердости полученного слоя, в диапазоне твердостей 32-36 HRC. В исследованиях [3,4] авторами были получены схожие значения твердостей.

Направлением дальнейших исследований целесообразно произвести электроискровую цементацию в аргоновой межэлектродной среде механизированным способом, для обеспечения стабильности формирования цементируемого слоя и оценки его параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гитлевич, А.Е., Михайлов В.В., Царканский Н.Я., Ревуцкий В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 196 с.

2. Лазаренко Н.И. О механизме образования покрытий при электроискровом легировании металлических поверхностей. Электронная обработка материалов. 1965, (1), 49-53.

3. Орлов, И. А. Исследование микротвердости стали Х12МФ после электроискрового легирования графитовым электродом / И. А. Орлов // Научный альманах. – 2024. – № 3-4(113). – С. 48-50. – EDN QIPLYH.

4. Мезенцов, С. А. Формирование карбидных и карбонитридных покрытий на титане методом электроискрового легирования / С. А. Мезенцов, И. В. Родионов // Вопросы электротехнологии. – 2018. – № 1(18). – С. 80-84. – EDN XUMMTJ.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВА ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Майкова К.Ф., студентка 2 курса
Научный руководитель – ассистент, **Кудинов Е.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Введение

Аддитивные технологии на базе FDM (Fused Deposition Modeling) активно внедряются в мелкосерийном производстве для прототипирования или изготовления деталей сложной геометрии с необходимыми физико-механическими свойствами. Аддитивное производство характеризуется большой длительностью изготовления и высокой материалоёмкостью. Снижение процента заполнения пропорционально сокращает расход пластика и время печати, однако напрямую влияет на механические характеристики готовой детали. Выбор оптимальных параметров печати под известные условия эксплуатации позволит снизить влияние негативных качеств аддитивного производства и поспособствует более широкому его распространению [1].

Настройка параметров осуществляется в специализированном ПО – слайсерах. Большинство программ доступны в открытом доступе и обладают частичной кроссплатформенностью. Для принтера Picaso Designer X Pro используется фирменный слайсер Polygon. Программа содержит предустановленные профили для различных полимеров, но ограничивает выбор топологии заполнения исключительно сотовым паттерном. В работе применяется именно данный слайсер в силу калибровки оборудования под его параметры.

Polygon позволяет настраивать основные параметры печати и так же имеет предустановленные настройки для работы с различными пластиками. Однако данная программа не позволяет изменять заполнение модели, доступно только заполнение в виде сот. В данной работе будет использоваться именно эта программа, так как принтер настроен на работу с ней.

Модели для испытаний создавались в Компас-3D. Испытания проводились на кручение до разрушения образцов.

Цель данного исследования - определение оптимального соотношения параметров печати, обеспечивающих заданные механические свойства при минимальных временных и материальных затратах.

Основная часть

В данной научно-исследовательской работе рассматривается сравнительный анализ физико-механических свойств цилиндрических образцов, напечатанных из пластика PETG, в зависимости от процента заполнения. Количество образцов для испытаний 3 для каждой группы заполнения: 33%; 66%; 100%. Испытания проводились на кручение с помощью испытательной машины МИ-40КУ, расположенной в учебной лаборатории СТИ НИТУ МИСИС.

Статические испытания на кручение позволяют определять прочностные характеристики материалов при сдвиге. В ходе испытаний фиксируют крутящий момент и угол закручивания, по которым определяют пределы текучести и прочности при кручении.

В зависимости от поведения материалов при испытаниях на кручение различают хрупкое и пластичное разрушение. Один и тот же материал может разрушаться по-разному в зависимости от внешних условий. Особенностью FDM-печати является зависимость механизма разрушения от температуры экструзии и скорости печати [2]. При низкой температуре экструзии не обеспечивается достаточная межслойная адгезия, что приводит к хрупкому разрушению по границам слоёв. При оптимальной температуре происходит

диффузия полимерных цепей между слоями, обеспечивающая пластичное разрушение. Однако превышение верхнего температурного порога может привести к деградации материала и ухудшению механических свойств [3].

Печать производилась на отечественном принтере Picasso Designer X Pro, используемые параметры печати в таблице 1. Модели обрабатывались с помощью слайсера разработанным производителем принтера - Polygon. Полученные результаты испытаний сравнивались с паспортными характеристиками пластика PETG, таблица 2.

Таблица 1 – Параметры печати

Пластик	№ образца	Кол-во образцов	Толщина слоя, мм	Заполнение, %	Направление печати	Форма заполнения	Скорость печати, мм/сек	Температура экструдера, °C	Линейные отклонения, мм	Время печати одного образца, ч
PETG	1	3	0,2	33%	Ось z	Сота	45	240	0,01	1,5
	2	3		66%						2,5
	3	3		100%						3,5

Таблица 2 – Паспортные характеристики пластика PETG

Наименование	Плотность, г/см^3	Прочность при растяжении вдоль слоев, МПа	Модуль упругости при растяжении вдоль слоев, ГПа	Коэффициент удлинения, %	Ударная вязкость по Шарли, кДж/м^2
PETG	1,30	36,5	1,12	2,41	4,17

Образцы после испытаний представлены на рисунке 1. Диаграмма деформирования на рисунке 2.

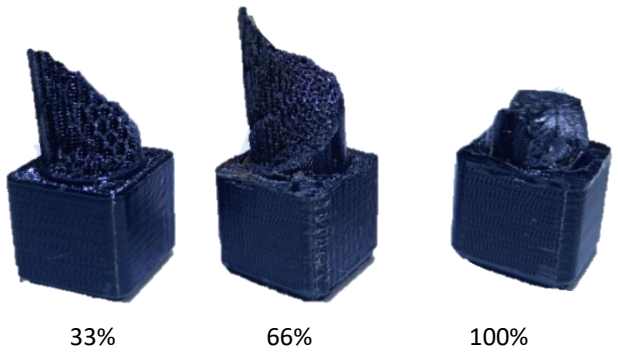


Рис. 1 – Образцы после испытаний

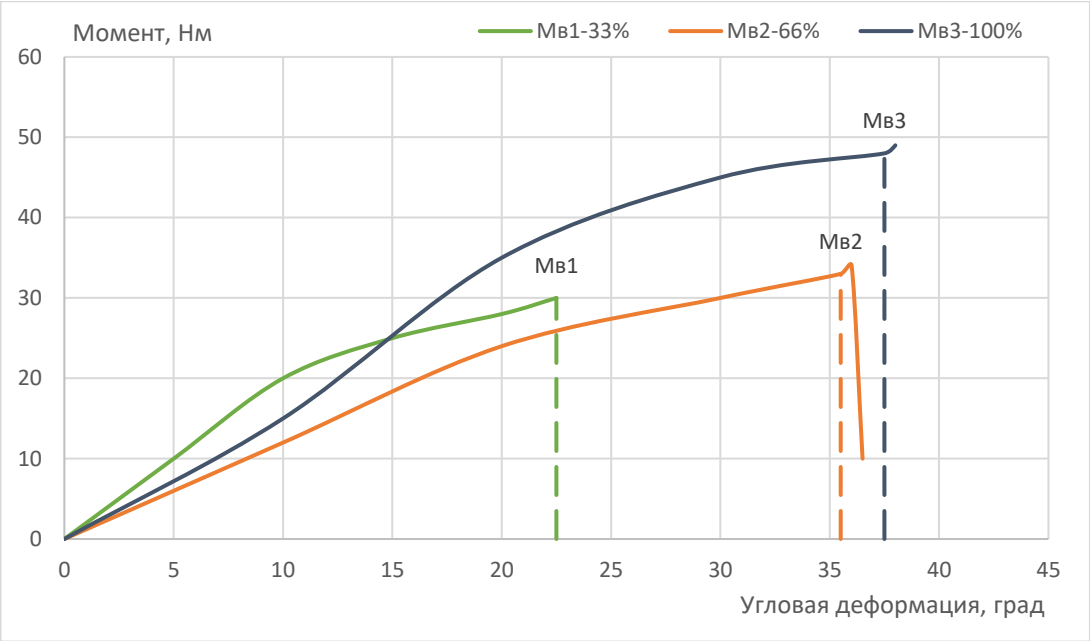


Рис. 2 – Диаграмма деформирования образцов при кручении

На основе экспериментальных данных рассчитаны основные физико-механические характеристики образцов и сведены в таблицу 4.

Предел текучести при кручении:

$$\tau_{\text{т}} = M_{\text{т}}/W_p, \quad (1)$$

где $M_{\text{т}}$ – крутящий момент, соответствующий текучести образца; W_p – полярный момент сопротивления сечения.

Предел прочности при кручении:

$$\tau_{\text{в}} = 0{,}75 \times M_{\text{в}}/W_p, \quad (2)$$

где $M_{\text{в}}$ – максимальный крутящий момент; W_p – полярный момент сопротивления сечения.

Таблица 4 – Найденные механические характеристики

№ образца	Заполнение, %	Момент, Нм		Характеристики, МПа	
		$M_{\text{т}}$	$M_{\text{в}}$	$\tau_{\text{т}}$	$\tau_{\text{в}}$
1	33	20	28	30,2	42,3
2		20	25	30,2	42,3
3		20	25	30,2	42,3
1	66	22	30	33,2	45,3
2		20	28	30,2	42,3
3		21	25	31,6	37,7
1	100	25	47	37,7	70,9
2		26	48	39,2	72,9
3		25	46	37,7	69,4

Заключение

В результате работы было установлено, что все образцы независимо от степени заполнения разрушились поперёк направления печати (перпендикулярно оси Z), что свидетельствует о высокой межслойной адгезии и отсутствии расслоения. Это подтверждает, что при температуре экструзии 240 °C и скорости печати 45 мм/с обеспечивается достаточная диффузия полимерных цепей между слоями, формирующая монолитную структуру [3].

С ростом заполнения с 33% до 100% предел текучести при кручении увеличился с 30,2 до 37,7 МПа (+24%), предел прочности - с 42,3 до 69,4 МПа (+64%).

При сопоставлении прочностных и эксплуатационных характеристик можно заметить, что при увеличении заполнения с 33 % до 100 % (рост массы и времени изготовления в ~2,3 раза) предел прочности при кручении увеличивается лишь на 64 %. Это свидетельствует о снижении удельной эффективности монолитных структур и подтверждает целесообразность применения сотового заполнения для деталей, где критично соотношение прочности и массы [2].

Дальнейшая работа может быть направлена на оценку влияния постобработки на снятие остаточных напряжений и усиление межслойной диффузии, а также на сравнительный анализ топологий заполнения (гироскопическая, алмазная).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Говоров И.С., Потапов А.А., Веневцев А.Ю. Исследование физико-механических свойств образцов после FDM-печати // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 11. – С. 446–447. – DOI: 10.24412/2071-6168-2023-11-446-447.

2. Вдовенко А.Д., Никитенко М.С., Пимонов М.В., Сивушкин А.С. Экспериментальное исследование влияния технологических параметров FDM-печати на механические свойства полимерных образцов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2025. – № 5 (171). – С. 42–50. – DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-42-50.

3. Петров П.А., Агзамова Д.Р., Шмакова Н.С. и др. Свойства пластика PETG после 3D-печати по технологии FFF. Часть 1 // Станкоинструмент. – 2022. – № 1. – С. 52–59. – DOI: 10.22184/2499-9407.2022.26.1.52.59.

МЕТОД ЭЛЕКТРОТЕНЗОМЕТРИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕТАЛЯХ МАШИН

Майкова К.Ф., студент 2 курса
Научный руководитель – ассистент, **Кудинов Е.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Введение

Электротензометрия является одним из наиболее распространённых методов исследования напряженно-деформированного состояния деталей механизмов и сооружений в ходе экспериментальных исследований. Данный метод позволяет измерять деформации деталей и оценивать возникающие механические напряжения в элементах конструкции с высокой точностью и надёжностью.

Принцип работы метода основан на применении специальных датчиков – тензорезисторов. Эти датчики устанавливаются непосредственно на поверхность исследуемого объекта таким образом, чтобы воспринимать изменения геометрической формы поверхности вследствие воздействия нагрузки. Деформации приводят к изменению сопротивления чувствительного элемента датчика, которое регистрируется специализированной аппаратурой. Затем полученные данные обрабатываются, позволяя вычислить величину деформации и соответствующее напряжение в конкретной точке конструкции [1].

Преимущества тензорезисторов заключаются в следующем:

– компактность и малый вес позволяют размещать датчики даже в труднодоступных зонах конструктивных элементов и деталей машин.
– возможность установки датчиков непосредственно на движущиеся части оборудования обеспечивает точное определение изменений нагрузки и деформаций в динамических условиях эксплуатации.
– высокая чувствительность к малым изменениям деформаций даёт возможность регистрировать мельчайшие изменения механических нагрузок.

Тензорезисторы также обладают способностью фиксировать изменение величины деформации во времени, что особенно важно при изучении циклических процессов, усталостных испытаний и долговременного мониторинга структурных повреждений изделий. Этот метод незаменим при испытаниях корпусов транспортных средств, мостовых конструкций, строительных объектов и прочих сложных инженерных сооружений.

Основная часть

Тензорезисторы представляют собой проводниковые или полупроводниковые приборы, меняющие свое омическое сопротивление при упругих деформациях растяжения или сжатия материалов датчика за счет изменения геометрических размеров и удельного сопротивления.

Простейшим тензодатчиком может служить линейный проводник, по всей длине закрепленный на исследуемой поверхности детали.

Сопротивление проводника R пропорционально его длине l, удельному сопротивлению ρ и обратно пропорционально площади поперечного сечения F [2]:

$$R = l\rho / F, \quad (1)$$

где l – длина проводника,
ρ – удельное сопротивление,
F – площадь поперечного сечения.

При деформации материала конструкции тензодатчик воспринимает его деформации [4], при этом происходит относительное изменение длины проводника $\Delta l/l$, удельного сопротивления $\Delta\rho/\rho$ и площади поперечного сечения $\Delta F/F$.

Тензорезистор наклеивается на поверхность исследуемой детали в точке и в направлении измеряемой деформации. Изменение относительного электрического сопротивления датчика пропорционально деформации:

$$\Delta R_д/R_д = \gamma\varepsilon, \qquad (2)$$

где γ – коэффициент тензочувствительности.

Идеальный проводник для тензорезистора должен обладать высокой тензочувствительностью и высоким удельным сопротивлением. Обычно проводниковые тензорезисторы изготавливают из сплавов меди с никелем, таких как константан и др [3].

Конструктивно тензодатчики сопротивления выполняются в виде решетки из проволоки, фольги или плоской узкой пластинки, вырезаемой из монокристалла полупроводника [1].

Рис. 1 – Внешний вид тензодатчика сопротивления

Тензорезистор включается в прибор – измеритель деформаций по мостиковой схеме, как показано на рис. 2.

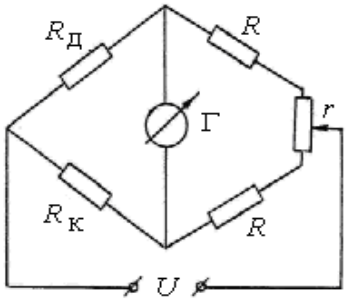


Рис. 2 – Схема подключения тензорезистора

Г – гальванометр; $R_д$ – тензорезистор сопротивления в исследуемой точке;
$R_к$ – тензорезистор для температурной компенсации; R – пара сопротивления внутри ИД;
r – переменное сопротивление для балансировки моста.

Из законов Кирхгофа следует, что сила тока в схеме определяется по формуле:

$$I_г = \frac{U}{2(R+R_д)} \cdot \frac{\Delta R_д}{R_д},$$

где U – напряжение питания, приложенное к мосту,

R – сопротивление плеч моста (постоянные резисторы),

$R_д$ – начальное (номинальное) сопротивление тензорезистора,

$\Delta R_д$ – изменение сопротивления датчика под воздействием измеряемого фактора (давления, температуры, деформации),

$\Delta R_д/R_д$ – относительное изменение сопротивления датчика.

Таким образом ток, протекающий через гальванометр, пропорционален изменению относительного сопротивления датчика и, следовательно, измеряемой деформации.

В лаборатории сопротивления материалов кафедры ТОММ «СТИ НИТУ МИСИС» электротензометрический метод применяется для экспериментального исследования напряжённого состояния балки при чистом изгибе; исследования напряжённо-деформированного состояния в тонкостенном стержне при кручении; плоского напряжённого состояния; косого изгиба.

Схемы установок, на которых проводятся измерения различных напряженных состояний, представлены на рисунках 3-6.

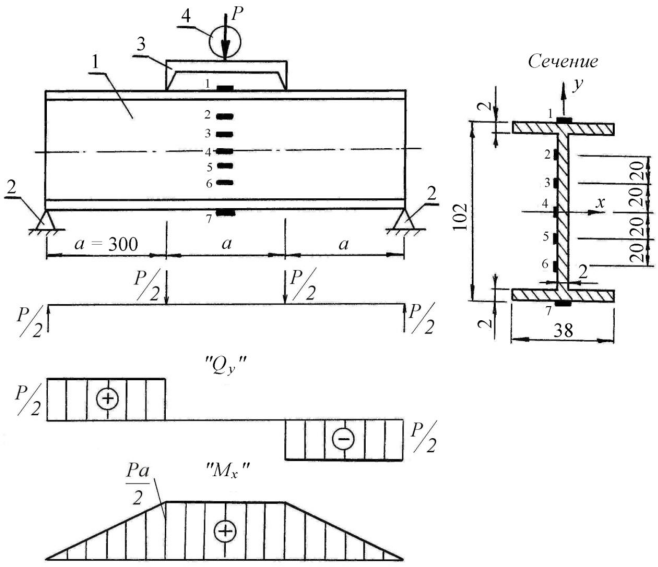
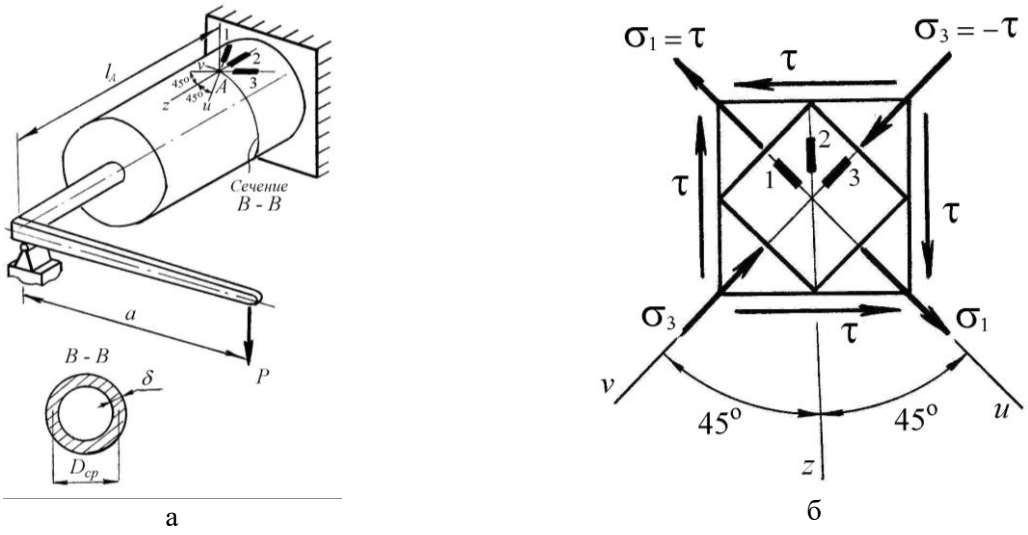


Рис. 3 – Схема балки при чистом изгибе



а б

Рис. 4 – Схема расположения тензорезисторов при кручении:
а – на поверхности трубы, б – напряженное состояние в точке *A*

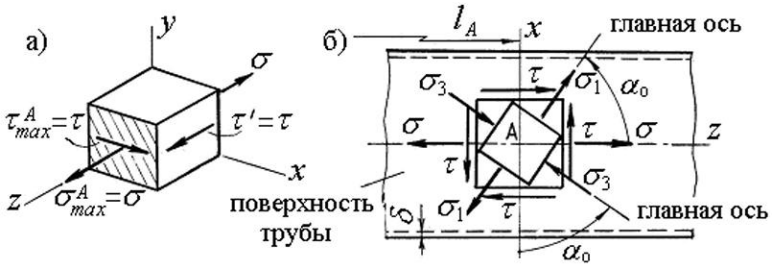


Рис. 5 – Плоское напряженное состояние в точке А

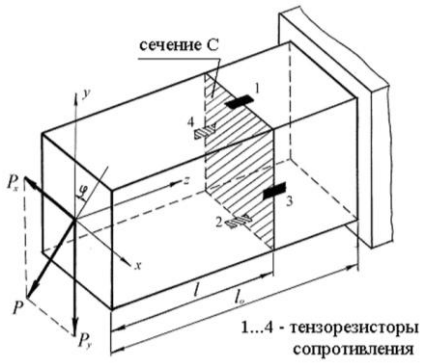


Рис. 6 – Схема испытываемого стержня при косом изгибе

На установке для опытной проверки напряжённого состояния балки при чистом изгибе (рис.3) были проведены исследования влияния на точность измерений температуры окружающей среды, знака измеряемой деформации (растяжение или сжатие), величины измеряемой деформации, качества контактов переключателя каналов.

Эксперименты выполнялись на балке из алюминиевого сплава Д16 с поперечным сечением в виде двутавра. По высоте сечения балки в зоне чистого изгиба в семи точках наклеены тензорезисторы (см. рис.3). Нагружение балки осуществлялось с шагом в 1 кН до предельного значения 4 кН.

На первом этапе экспериментов была проведена коррекция цены единицы дискретности измерителя деформаций, используемого в опытах. С этой целью были определены теоретические значения деформаций в исследуемых точках. Эти значения сравнивались с результатами эксперимента.

В таблице 1 представлены показания резисторов на каждом этапе нагружения и приращения показаний. Средняя разность отсчётов $\Delta n_{ср}$ подсчитывалась по каждому тензорезистору для ступени нагрузки ΔP = 1 кН.

Таблица 1 – Показания резисторов

P, kH	ΔP	Показания тензорезисторов, n_i							Приращения показаний тензорезисторов, Δn_i						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
0	1	-520	-275	-931	1646	-1025	-810	-869	-	-	-	-	-	-	-
1		-626	-360	-977	1641	-989	-732	-959	-106	-85	-46	-5	36	78	90
2		-711	-427	-1008	1643	-953	-659	-1050	-85	-67	-31	2	36	73	91
3		-801	-499	-1044	1643	-917	-587	-1143	-90	-72	-36	0	36	72	93
4		-887	-566	-1078	1643	-882	-515	-1228	-86	-67	-34	0	35	72	85
$n_{ср}$									-92	-73	-37	-1	36	74	90

Деформация определялась для всех точек, где наклеены датчики:

$$\Delta\varepsilon_{эк} = \alpha \times \Delta n_{ср}, \quad (3)$$

здесь $\alpha = 2 \times 10^{-6}$ цена единицы дискретности измерителя деформаций (паспортные данные).

В таблице 2 приведены теоретические и экспериментальные значения деформаций. Сравнение этих значений позволяет провести коррекцию цены единицы дискретности измерителя деформаций. Было принято $\alpha_{\text{кор}} = 2{,}18 \times 10^{-6}$.

Таблица 2 – Теоретические и экспериментальные значения деформаций

Деформация	№ канала						
	1	2	3	4	5	6	7
$\varepsilon_{\text{т}} \times 10^4$	-2	-1,59	-0,80	0	0,80	1,59	2
$\varepsilon_{\text{эк}} \times 10^4$	-1,84	-1,46	-0,74	-0,02	0,72	1,48	1,80

Экспериментальные значения деформаций после коррекции представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Экспериментальные значения деформаций после коррекции

Деформация	№ канала						
	1	2	3	4	5	6	7
$\varepsilon_{\text{т}} \times 10^4$	-2,00	-1,59	-0,80	0	0,80	1,59	2,00
$\varepsilon_{\text{эк}} \times 10^4$	-2,00	-1,59	-0,80	-0,02	0,78	1,61	1,96

Из таблицы видно, что экспериментальные значения отрицательных деформаций (деформаций сжатия) практически совпадают с теоретическими значениями. В зоне растяжения расхождения не превышают 2%, при этом с возрастанием величины деформации расхождение уменьшается.

Для проверки влияния на точность измерений деформаций качества контактов переключателя каналов были проведены измерения с помощью другого измерителя деформаций, разница в показаниях не превышала 2%.

Полученные результаты будут учтены при проведении опытов на выше указанных конструкциях, а также могут быть рекомендованы при экспериментальных изучениях напряжённо-деформированных состояний деталей машин с применением электротензометрии.

Заключение

Применение тензометрического метода эффективно для анализа широкого спектра объектов различного назначения, таких как металлические фермы мостовых сооружений, балки строительных каркасов зданий, элементы авиационных конструкций, детали машин и оборудования, зубчатые передачи, подшипники и другие узлы механических устройств [5]. Использование полученных таким образом данных способствует повышению надежности проектирования, оптимизации форм и размеров деталей, снижению массы изделий и улучшению эксплуатационных характеристик проектируемых конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций: учеб. пособие / В.А. Мехеда. – Самара: Издательство Самарского гос. аэрокосмического университета, 2011, 56 с.
2. Авдеев, В.И. Сопротивление материалов с примерами расчётов [Текст]: учебное пособие/ В.И. Авдеев. – Старый Оскол: ТНТ, 2020, 214 с.
3. Основы материаловедения: учебник / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко; под ред. Г. Г. Бондаренко. – 4-е изд., М: Лаборатория знаний, 2023, 763 с.
4. Бажанов, В. Л. Механика деформируемого твердого тела: учебное пособие для вузов / В. Л. Бажанов. – Москва: Издательство Юрайт, 2026, 178 с.

5. Технология конструкционных материалов: учебник для среднего профессионального образования / под редакцией М. С. Корытова. – 2-е изд., – Москва: Изд. Юрайт, 2026, 234 с.

ПРОБЛЕМЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В САПР ПРОГРАММАХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ДЕТАЛИ ВПУСКНОГО КЛАПАНА ГИДРОСИСТЕМЫ

Майкова К.Ф., студент 2 курса
Научный руководитель – ассистент, **Кудинов Е.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Введение

С развитием систем автоматизированного проектирования (далее - САПР) и техники в целом, появилась потребность оптимизировать разработку деталей адаптивных для различных вариантов механизмов. В следствии этого появилось параметрическое моделирование, которое стало все более доступным для инженеров.

На сегодняшний день параметрическое моделирование в САПР системах - это не только возможность оперативно менять геометрию детали, но и автоматизированный инженерный анализ с помощью CAE (система автоматизированного инженерного расчёта) систем с дальнейшим автоматическим написанием программы для станков с ЧПУ в CAM (система подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ) системах.

Для более эффективного распространения параметрического моделирования среди инженеров в программу обучения студентов вводится изучение основ параметрического моделирования.

Параметризация - важный этап моделирования детали (сборки, чертежа), который позволяет установить зависимость между параметрами отдельного объекта или равенство параметров объекта константе [2]. Иными словами, параметризация — это изменение параметра одного объекта и последующее автоматическое изменение параметров других, связанных, объектов.

Многие известные компании по производству ПО для 3D-проектирования поддерживают параметрическое моделирование: Solidworks (Франция), Autodesk (США), ТопСистем (Россия), Аскон (Россия).

Основная часть

Рассмотрим создание параметрической модели «Клапан гидросистемы» с помощью графического редактора компании «Аскон» КОМПАС-3D v21.

С физической детали впускного клапана гидросистемы снимаются размеры, и мысленно делят на простейшие геометрические поверхности. Важно правильно (оптимально) разделить, так как на это при дальнейшей работе будет опираться иерархия построения сначала эскизов, а потом- твердотельное моделирование.

Запустив программу, в стартовом окне открываем документ «Деталь» и для удобства сразу сохраняем этот файл с нужным названием и в нужное место.

Выбираем плоскость для первого эскиза: XY. Из центра координат создаем контур для нижнего и среднего цилиндра, с учетом внутренних выступов. Используя авторазмер, задаем линиям контура размеры, а также проведем осевую линию. После этого действия в дереве построений рядом с «Эскиз:1» появится знак плюса «+», который означает, что данный эскиз лишен всех степеней свободы, то есть он определен. Эскиз можно определить и простым фиксированием точек, но при решении КОМПАСом математических уравнений это приведет к неверному перестроению модели. Поэтому необходимо пользоваться инструментами ограничений. Используя инструмент «выдавливание вращением» создадим твердотельную модель, рис. 1.

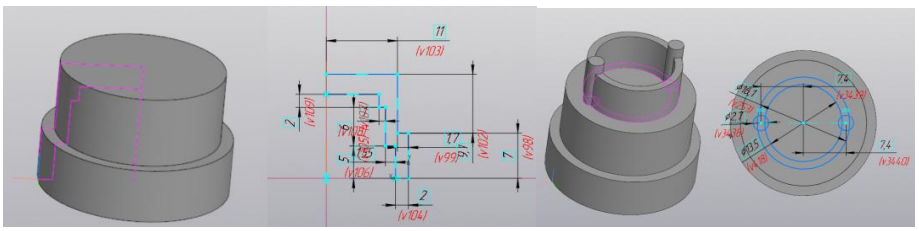


Рис. 1 – Твердотельная модель посадочных цилиндров и внешних упоров

Для параметризации эскизов, находящихся на одной оси в начале координат, используем инструмент «выравнивание», он поможет убрать горизонтальную или вертикальную степень свободы.

Создадим эскиз верхнего посадочного цилиндра, внешнего упора и используя инструмент «выдавить» и «объединить» получим твердотельную модель, рисунок 1. Расположение эскизов внутри друг друга позволяет сократить общее количество эскизов, а последующее выдавливание осуществляется с помощью выбора нужной области.

Сопло, усиление и отверстие для слива воды создаем с помощью инструмента «выдавить по траектории» и «вырезать по траектории». [4] На плоскости параллельной основанию создается эскиз для отверстия, а на плоскости ей перпендикулярной траектория выреза отверстия. Таким же образом выполняется построение эскиза траектории и для штуцера с усилением. Последний эскиз для штуцера с усилением – его поддержка. После построения этих эскизов остается применить соответствующие инструменты, рис. 2.

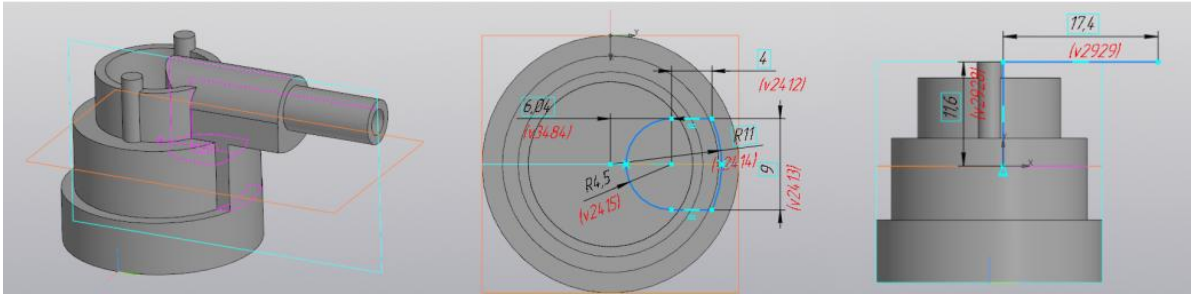


Рис. 2 – Твердотельная модель и эскизы

Эскиз внутреннего упора выполняем с помощью инструмента «массив по концентрической сетке». Для этого необходимо построить ось вокруг которой образуются элементы упора, рис. 3.

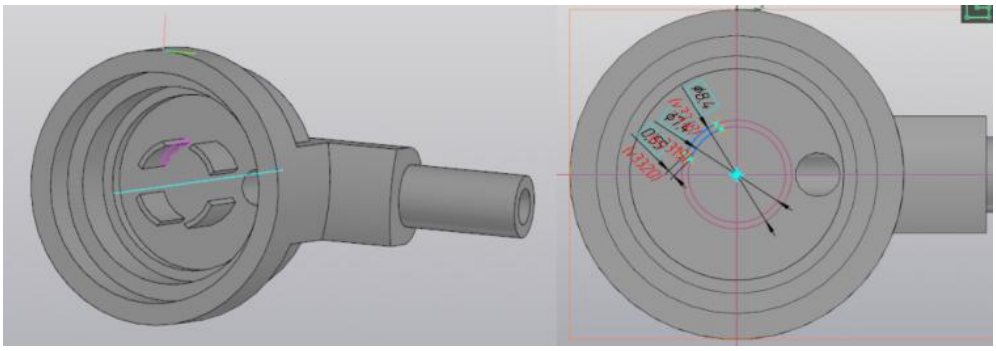


Рис. 3 – Твердотельная модель и эскиз внутреннего упора

Последний эскиз в данной модели - ребро жесткости для сопла. Для построения эскиза необходимо воспользоваться ранее построенными плоскостями, завершим моделирование скруглением ребер, рис. 4.

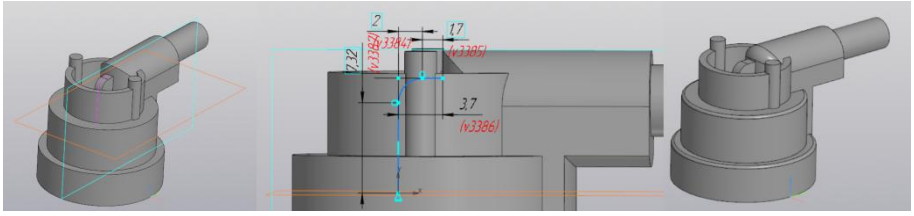


Рис. 4 – Твердотельная модель и эскиз ребра жесткости штуцера

Проверим с помощью инструмента «отображать сечения модели» внутреннюю структуру модели, убедимся, что модель построена корректно, рисунок 5.

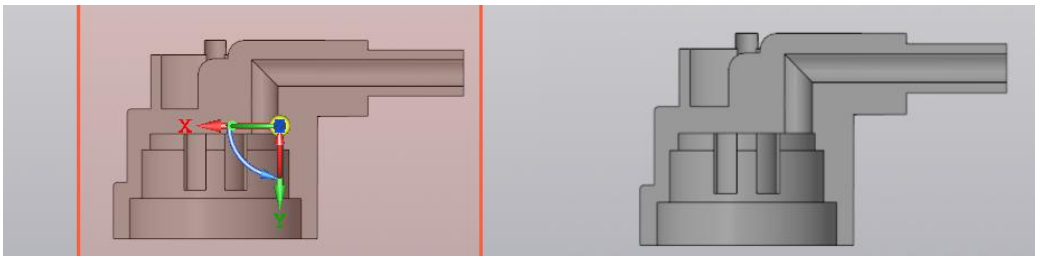


Рис. 5 – Внутреннее сечение модели

Модель построена верно. Начинаем параметрическое моделирование описание математических зависимостей размеров детали. Выбираем ведущие (главные) размеры относительно которых будет перестраиваться вся модель (ведомые размеры). Первый главный размер - внутренний диаметр нижнего опорного цилиндра. В случае большого числа размеров вести расчет проще в электронном виде, например - Excel.

Одна из проблем на этом этапе - это правильно понять, как будет меняться модель при изменении ведущего размера. Используя формулу (1), найдем насколько ведомый размер меньше или больше ведущего.

$$a = \frac{\textit{ведомый размер}}{\textit{ведущий размер}} \quad (1)$$

Для нахождения нового ведомого размера используем формулу (2):

$$b = a \times \textit{ведущий размер} \quad (2)$$

Все проставленные ранее размеры имеют локальную переменную, сделаем глобальными некоторые переменные, при этом ведущий размер будет не только глобальным, но и внешним. На рис. 6 виден формат таблицы размеров в Excel и занесение этих размеров в компас, так же дерево модели. Теперь при изменении переменной «DD» КОМПАС пересчитает остальные переменные и перестроит геометрию детали.

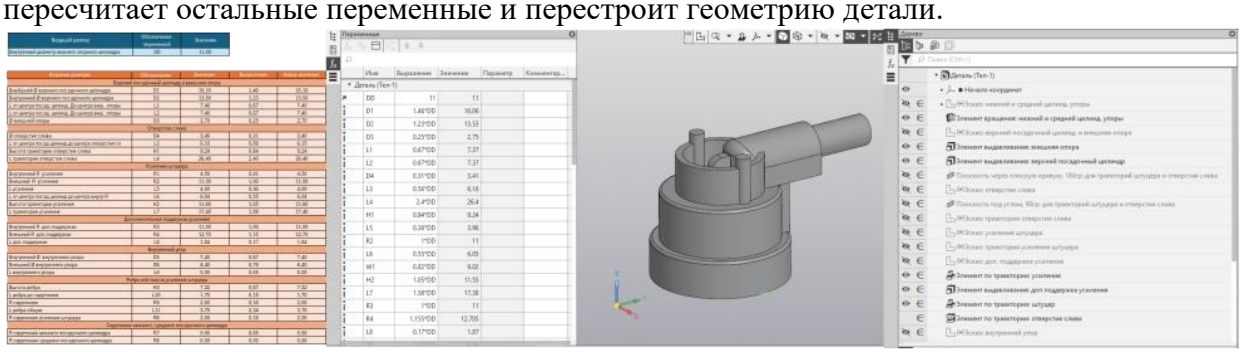


Рис. 6 – Таблицы размеров, переменных и дерево модели

Параметрическое моделирование становится неотъемлемой частью практически любого инженерного проекта. С его помощью можно оперативно менять геометрию детали, сборки, автоматически проводить расчет оптимальных размеров. Важно чтобы студенты

инженеры понимали основы параметризации детали, ее особенности, плюсы и минусы. Так к минусам можно отнести несовершенство некоторых САПР систем, которые требуют проставлять размеры несколько раз, малая гибкость в наименовании переменных. Большим преимуществом является возможность задавать математическую модель не только на панели параметров, но и с помощью скриптов - это позволяет создавать детали сложных конфигураций, которые описываются системами уравнений и не только.

По итогу данной работы для студентов в рамках дисциплины «Компьютерная графика» будет собрана лабораторная работа, которая познакомит с основами параметризации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. https://www.manufacturing-journal.net/energy-industry/1965-energy-of-the-future
2. Бузало Н.А., Царитова Н.Г., Платонова И.Д., Лысенко В.Н. Параметрическое моделирование конструкций в среде визуального программирования // Вестник Евразийской науки, 2021 №4, https://esj.today/PDF/03SAVN421.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
3. Аликулов С. С. Оптимизация процессов разработки чертежей с использованием параметрического моделирования. Экономика и социум №9(135) 2025
4. Амангельдиева А.А., Кишубаева А.Т. Использование графических редакторов autocad autodesk и autodesk inventor в качестве инструментов проектирования в трехмерной системе автоматизированного проектирования. Вестник АГТУ № 1 (71), 2021.

СТАНДАРТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ И ВЫНОСЛИВОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Майкова К.Ф., студент 2 курса
Научный руководитель – ассистент кафедры, **Кудинов Е.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Введение

Благодаря технологическому развитию 3D печать стала доступной для производств различной направленности и масштаба, а создание множества инженерных и композиционных филаментов позволяет изготавливать детали с различными физико-механическими и другими свойствами. На производстве 3D печать может использоваться в качестве прототипирования, изготовление нестандартных или эксклюзивных деталей сложной геометрии. Несмотря на большое количество плюсов аддитивные технологии имеют свои недостатки, одни из которых время печати и анизотропия готовой детали [1]. Время печати возможно уменьшить путем совершенствования приводов механизма печати, а анизотропию можно уменьшить последующим отжигом полученной детали или более оптимальными параметрами печати.

На рынке наиболее широкое распространение получили следующие пластики: PLA (полилактид); PETG (полиэтилентерефталат-гликоль); ABS(Акрилонитрилбутадиенстирол). Выбор пластика обуславливается необходимыми эксплуатационными свойствами готовой детали, экономической целесообразностью и техническими возможностями самого принтера. Помимо основного пластика, из которого печатается деталь, часто бывает необходим дополнительный пластик для создания поддержек - временных вспомогательных структур, печатаемые вместе с деталью, чтобы удерживать нависающие элементы, предотвращая их провисание, деформацию или падение. Пластик для поддержки целесообразно выбирать с более низкими прочностными характеристиками, так как прочный пластик затрудняет постобработку полученной детали, однако существуют и водорастворимые пластики, которые в разы упрощают дальнейшую постобработку [4].

Столкнувшись с выбором пластика для 3D печати пока нет единых справочных таблиц, или они неполные, из-за большого количества параметров как самой печати, так и пластиков, следовательно поиск необходимого материала и подбор параметров печати сводится к поиску различных статей от энтузиастов, что требует значительных временных и ресурсных затрат.

Основная часть

В данной научно-исследовательской работе рассматривается сравнительный анализ физико-механических свойств цилиндрических образцов, напечатанных из пластиков: PLA; PETG. Испытания проводились на сжатие и кручение с помощью испытательной машины МИ-40КУ, расположенной в учебной лаборатории в СТИ НИТУ МИСИС.

Печать производилась на отечественном принтере Picaso Designer X Pro. Модели обрабатывались с помощью слайсера разработанным производителем принтера - Polygon. Используемые параметры печати представлены в таблице 1. Выбранные параметры обусловлены рекомендациями производителя. Характеристики пластиков PLA и PETG представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Параметры печати

Пластик	Толщина слоя, мм	Заполнение, %	Форма заполнения	Скорость печати, мм/сек	Температура экструдера, °С	Линейные отклонения, мм	Время печати одного образца, ч	
							сжатие	растяжение
PLA	0,2	66%	Сота	45	200	0,01	0,5	2,2

PETG					240		0.8	2,46

Таблица 2 – Характеристики пластиков PLA и PETG

Наименование	Плотность, г/см^3	Прочность при растяжении поперек слоев, МПа	Модуль упругости при растяжении поперек слоев,	Прочность на сжатие, МПа	Модуль упругости на сжатие, ГПа	Максимальная нагрузка на сжатие, Н	Коэффициент удлинения, %	Ударная вязкость по Шарли, кДж/м^2
PLA	1,25	31,2	3,07	77,4	2,96	9719	30	5,62
PETG	1,30	33,6	1,73	51,7	1,81	6386	2,41	4,17

Образцы при испытаниях на сжатие и кручение полностью деформировались, рис. 1.

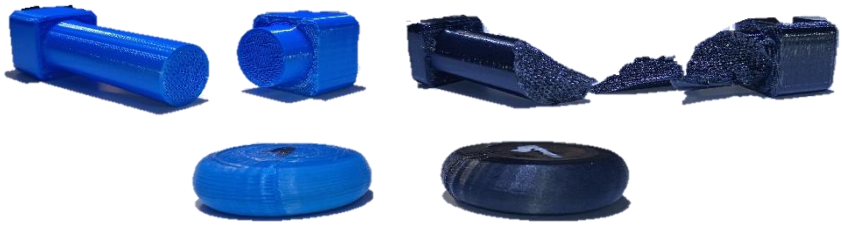


Рис. 1 – Образцы после испытаний (PLA – синий; PETG - черный)

На рис. 2 представлены диаграммы деформирования образцов при сжатии. Характер кривых указывает на пластичное поведение обоих материалов.

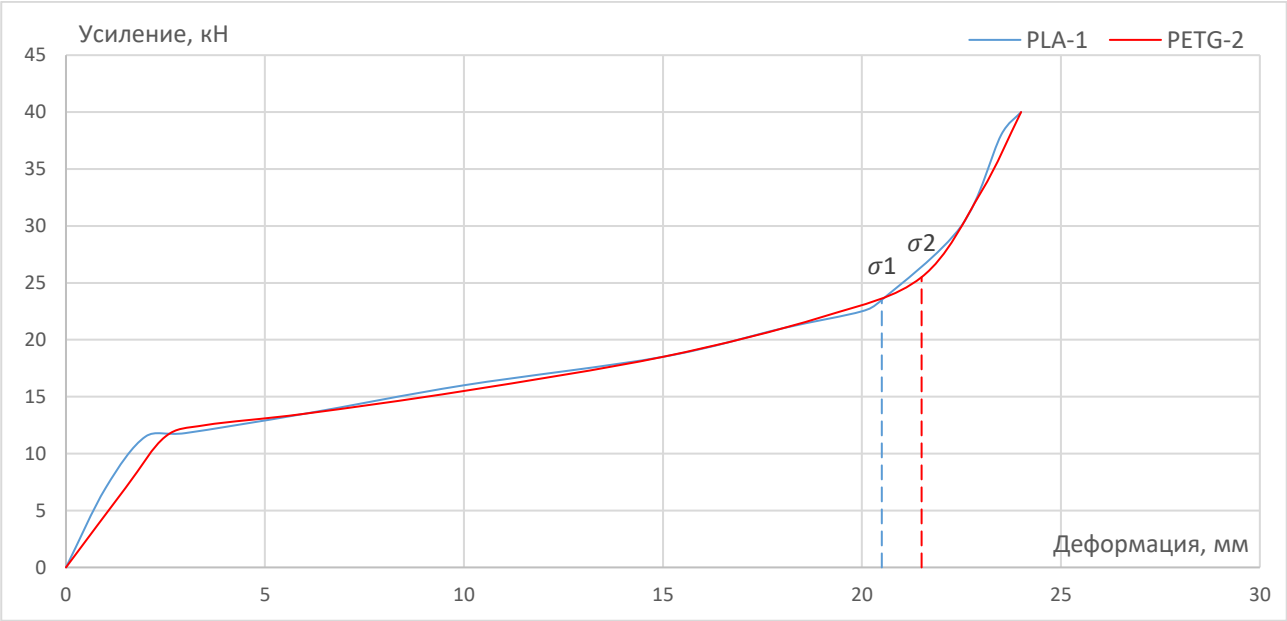


Рис. 2 – Диаграмма деформирования образцов при сжатии

На начальных участках диаграмм наблюдается область упругой деформации, где выполняется закон Гука.

При достижении напряжения 11-12 кН на диаграммах появляется характерная площадка текучести, соответствующая началу пластической деформации. Для PLA этот переход более резкий, что свидетельствует о меньшей пластичности по сравнению с PETG.

В зоне упрочнения оба материала демонстрируют рост нагрузки до 20-25 кН, что связано с наклепом - упрочнением материала в процессе пластической деформации.

Диаграммы деформирования при кручении (рис. 3) показывают зависимость крутящего момента от угла закручивания.

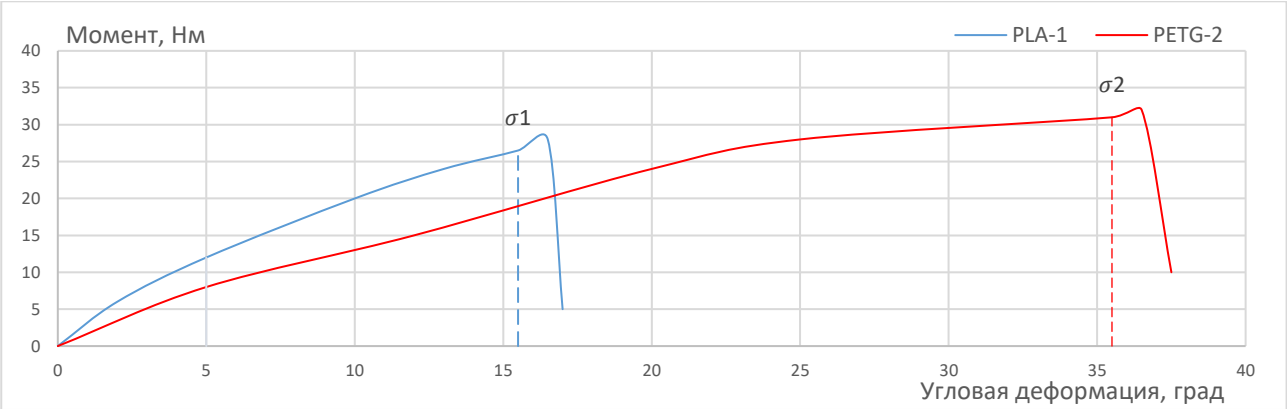


Рис. 3 – Диаграмма деформирования образцов при кручении

PLA демонстрирует меньшую пластичность при кручении: разрушение происходит при угле закручивания 16,5° и моменте 26,5 Нм. Диаграмма имеет выраженный максимум с последующим резким падением нагрузки.

PETG показывает более высокую пластичность: образец выдерживает угол закручивания до 36,5° при моменте 31 Нм. Диаграмма имеет более плавный характер без резких перегибов, что характерно для вязких материалов.

Основные физико-механические характеристики для образцов вычислялись по формулам ниже.

Предел текучести при сжатии:

$$\sigma_{\text{т}} = P_{\text{т}}/F_0, \quad (1)$$

где $P_{\text{т}}$ – нагрузка текучести; F_0 – площадь сечения образца.

Предел прочности при сжатии:

$$\sigma_{\text{в}} = P_{max}/F_0, \quad (2)$$

где P_{max} – наибольшая нагрузка.

Предел текучести при кручении:

$$\tau_{\text{т}} = M_{\text{т}}/W_p, \quad (3)$$

где $M_{\text{т}}$ – крутящий момент, соответствующий текучести образца; W_p – полярный момент сопротивления сечения.

Предел прочности при кручении:

$$\tau_{\text{в}} = 0{,}75 \times M_{\text{в}}/W_p, \quad (4)$$

где $M_{\text{в}}$ – максимальный крутящий момент; W_p – полярный момент сопротивления сечения.

Значение предела прочности $\sigma_{\text{в}}$ принято условным, так как образцы не разрушились, а были деформированы до предельной нагрузки испытательной машины (40 кН).

Таблица 3 – Найденные механические характеристики образцов на сжатие

№ образца	Пластик	Нагрузки, кН		Характеристики, МПа	
		$P_{\text{т}}$	P_{max}	$\sigma_{\text{т}}$	$\sigma_{\text{в}}$
1	PLA	10,5	40	33,43	127,38
2		11		35,03	
3		11,5		36,62	

1	PETG	11,5		36,62	
2		12		38,21	
3		12,5		39,8	

Таблица 4 – Найденные механические характеристики образцов на кручение

№ образца	Пластик	Момент, Нм		Характеристики, МПа	
		$M_т$	$M_в$	$\tau_т$	$\tau_в$
1	PLA	20	25	30,2	37,7
2		20	25	30,2	37,7
3		20	25	30,2	37,7
1	PETG	24	32	36,2	48,3
2		25	30	37,7	45,3
3		25	35	37,7	52,8

Заключение

В ходе данной работы был проведен сравнительный анализ физико-механических свойств образцов из пластиков PLA и PETG, изготовленных методом послойного наплавления (FDM).

На основании полученных данных можно сделать выводы о характере деформации, прочностных характеристиках и о дальнейшем развитии данного исследования.

Оба материала при сжатии демонстрируют пластичное поведение с выраженной площадкой текучести [3]. При кручении PLA проявляет себя как более хрупкий материал (разрушение при малых углах закручивания ~16°), в то время как PETG обладает высокой пластичностью, выдерживая углы деформации до 43° без хрупкого разрушения.

Предел текучести при сжатии у PETG (в среднем 38 МПа) выше, чем у PLA (35 МПа), что соответствует справочным данным. Однако полученные значения прочности ниже табличных характеристик для монолитного материала (таблица 2), что обусловлено внутренними дефектами структуры, пористостью и степенью заполнения (66%), характерными для FDM-печати.

Учитывая высокую пластичность и вязкость, PETG является более предпочтительным материалом для печати деталей, работающих на скручивание и ударные нагрузки [2]. PLA, обладая большей жесткостью, лучше подходит для деталей, где важна стабильность при небольших нагрузках.

Полученные результаты подтверждают необходимость учета анизотропии и параметров печати при проектировании деталей из 3D-печатных пластиков, так как их свойства существенно отличаются от свойств исходного филамента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев, В.И. Сопротивление материалов с примерами расчётов [Текст]: учебное пособие/ В.И. Авдеев. – Старый Оскол: ТНТ, 2020, 214 с.
2. Основы материаловедения: учебник / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко; под ред. Г. Г. Бондаренко. – 4-е изд., М: Лаборатория знаний, 2023, 763 с.
3. Бажанов, В. Л. Механика деформируемого твердого тела: учебное пособие для вузов / В. Л. Бажанов. – Москва: Издательство Юрайт, 2026, 178 с.
4. Дроздов, А. В. Аддитивные технологии в машиностроении: учебное пособие / А. В. Дроздов, И. А. Дроздова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТЕНЗОМЕТРИИ

Майкова К.Ф., студент 2 курса
Научный руководитель – ассистент**, Кудинов Е.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Введение

Электротензометрия – это метод измерения деформаций материалов с помощью специальных датчиков, называемых тензодатчиками. Этот метод широко используется в различных областях, таких как строительство, машиностроение и материаловедение. Однако, как и любой другой метод измерения, электротензометрия подвержена влиянию внешних факторов, одним из которых является температура.

Температура оказывает значительное влияние на точность измерений методом электротензометрии. Это связано с тем, что материалы, из которых изготовлены тензодатчики, имеют различные коэффициенты теплового расширения. При изменении температуры материал расширяется или сжимается, что приводит к изменению его механических свойств. Это, в свою очередь, влияет на показания тензодатчика.

Кроме того, температура может влиять на электрические свойства тензодатчика. Например, при повышении температуры сопротивление материала может изменяться, что также влияет на точность измерений. Поэтому при проведении измерений методом электротензометрии необходимо учитывать влияние температуры и принимать меры для его минимизации.

Одним из способов минимизации влияния температуры на точность измерений является использование тензодатчиков с низким коэффициентом теплового расширения. Такие датчики менее чувствительны к изменениям температуры и обеспечивают более точные измерения. Кроме того, можно использовать специальные методы калибровки, которые позволяют компенсировать влияние температуры на показания тензодатчика. [1]

Основная часть

В ходе проведенного исследования осуществлялись специальные практические эксперименты, направленные на детальное изучение влияния температуры на состояние материала исследуемого элемента конструкции. Основной целью экспериментов было определение зависимости уровня деформаций от изменения температурных условий. Для достижения этой цели была организована серия опытов.

Эксперименты выполнялись на балке из алюминиевого сплава Д16 с поперечным сечением в виде двутавра. По высоте сечения балки в зоне чистого изгиба в семи точках наклеены тензорезисторы (см. рис.1). Нагружение балки осуществлялось с шагом в 1 кН до предельного значения 4 кН.

Температура балки во время проведения экспериментальной серии регулировалась посредством промышленного фена. Это позволяло изменять температуру ≈ +30°…+40° относительно комнатной температуры окружающей среды. Полученный диапазон температур стабильно удерживался на заданном уровне благодаря непрерывному контролю, осуществляемому вдоль линии тензометрических датчиков.

Температура во время проведения всех экспериментов фиксировалась посредством лазерного термометра. Этот прибор позволяет получать точные данные о температуре исследуемых объектов благодаря бесконтактному методу замера температуры с использованием лазера. Погрешность измерений данного прибора составляет не более 2%, что обеспечивает высокую точность полученных результатов. Лазерный термометр выбран именно потому, что он способен минимизировать влияние внешних факторов и обеспечить

надёжную фиксацию температурных показателей даже в условиях нестабильной окружающей среды. [2]

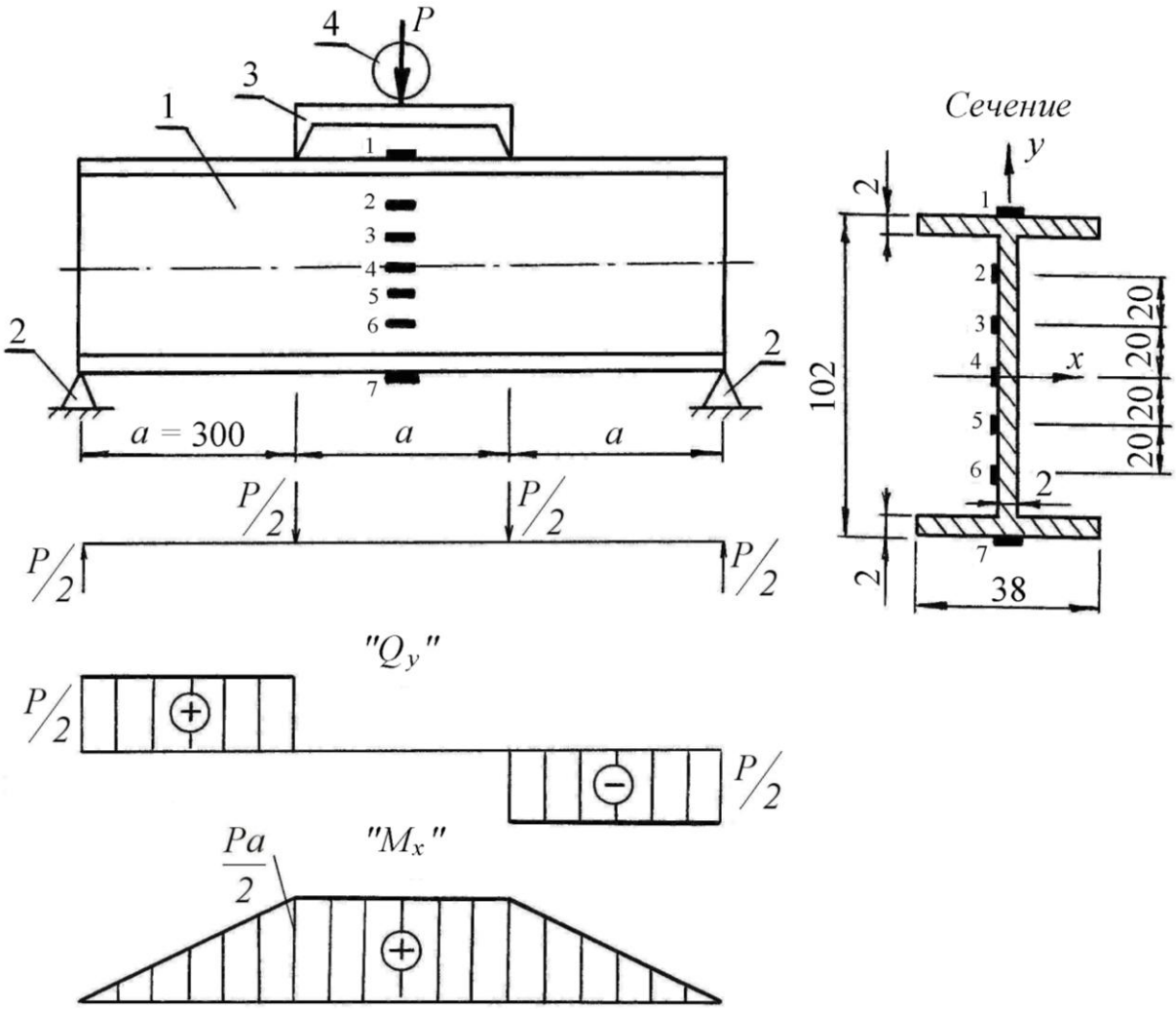


Рис. 1 – Схема балки при чистом изгибе

Для повышения точности измерений и минимизации влияния случайных факторов были проведены серии экспериментов последовательно на двух идентичных устройствах – измерителях деформации тензометрического типа ИТЦ-03. Применение сразу двух приборов позволило исключить влияние случайных ошибок измерения и повысить надежность результатов эксперимента. По завершении каждой серии опытов производился расчет среднего значения показаний обоих устройств, что обеспечило получение достоверной величины деформаций.

Показания тензорезисторов при нормальной (19±2°С) и повышенной (52±2°С) температурах при нагружении образца равным 4 кН, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показания тензорезисторов при нормальной и повышенной температурах

P, кН	Температура образца, T_2°C	Показания тензорезисторов, n_i				
		2	3	4	5	6
4	19±2	-566	-1078	-1643	-882	-515
	52±2	-437	-956	1776	-740	-348
$\Delta n_{\text{ср}}$		129	122	133	142	167
$\Delta\varepsilon_{\text{р}} \times 10^4$		1,40	1,32	1,44	1,54	1,82

Разница значений деформаций между образцами при нормальной и повышенной температурах была значительной, что говорит об изменении физико-механических характеристик образца. Таким образом можно сказать, что датчики фиксируют деформации не только от нагрузки, но и от температурного воздействия. О величине температурных деформаций можно судить по показаниям датчика № 4, который располагается на нейтральной линии балки и фиксирует деформацию от нагрузки. [3]

Наблюдается значительная разница деформаций между образцами, находящимися при комнатной температуре, и теми, которые были предварительно подвергнуты нагреву до температуры 52°C.

Полученные значения деформаций подтверждают влияние температурного фактора, причем на растянутые волокна изменение температуры оказывало больший эффект, что подтверждается величиной полученной суммарной деформации.

Таким образом, температурное воздействие оказывает существенное влияние на механические характеристики материалов, вызывая заметные изменения в показателях деформаций. Данный эффект является важным фактором, который необходимо учитывать при эксплуатации изделий и проведении испытаний, особенно когда материал подвергается воздействию повышенных температурных режимов. [4]

Чтобы избежать указанной погрешность в измерениях, необходимо компенсационный тензорезистор располагать как можно ближе к датчику в исследуемой точке, контролировать температуру окружающей среды. Наиболее эффективная защита от температурного влияния является схема включения в смежные плечи измерительного моста датчиков в точках с равной по величине и противоположной по знаку деформацией. При этом полностью исключается влияние температуры, кроме того удваивается чувствительность к деформации.

Заключение

Тензорезисторы находят широкое применение в различных областях, включая строительство, машиностроение и материаловедение, благодаря своей способности точно измерять деформации материалов. Однако, как показывает проведённое исследование, на точность измерений методом электротензометрии существенно влияют внешние факторы, в частности температура. Изменение температуры приводит к изменению физико-механических характеристик материалов, что, в свою очередь, отражается на показаниях тензодатчиков. [5]

В ходе практических экспериментов было установлено, что разница в деформациях между образцами при нормальной и повышенной температурах может достигать значительных величин. Это свидетельствует о значительном влиянии температурного фактора на механические свойства материалов. Для минимизации погрешностей, связанных с температурой, рекомендуется так же использовать тензорезисторы с низким коэффициентом теплового расширения и применять методы калибровки, позволяющие компенсировать температурные воздействия.

Таким образом, результаты проведённых экспериментов подтверждают необходимость учёта температурного фактора при проведении испытаний. В целом, применение

тензорезисторов в сочетании с методами температурной компенсации позволяет повысить надёжность и точность измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций: учеб. пособие / В.А. Мехеда. – Самара: Издательство Самарского гос. аэрокосмического университета, 2011, 56 с.
2. Авдеев, В.И. Сопротивление материалов с примерами расчётов [Текст]: учебное пособие/ В.И. Авдеев. – Старый Оскол: ТНТ, 2020, 214 с.
3. Основы материаловедения: учебник / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко; под ред. Г. Г. Бондаренко. – 4-е изд., М: Лаборатория знаний, 2023, 763 с.
4. Бажанов, В. Л. Механика деформируемого твердого тела: учебное пособие для вузов / В. Л. Бажанов. – Москва: Издательство Юрайт, 2026, 178 с.
5. Технология конструкционных материалов: учебник для среднего профессионального образования / под редакцией М. С. Корытова. – 2-е изд., – Москва: Изд. Юрайт, 2026, 234 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГЕТЕРОГЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Майкова К.Ф., студент 2-го курса
Научный руководитель - ст. преподаватель, **Ларин А.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Изучая различные механизмы воздействующие на поверхность материалов, которые упрочнились пластической деформацией, является Достаточно большим теоретическим и практическим интересом. Главными причинами разрушения изделий выступают усталостные разрушение, износ,

а также коррозионные характеристики, поэтому основным способом противостоять этому является упрочнение поверхности металла деталей механизмов. Различные конструктивные тензометрические устройства могут выполнять процесс моделирования упрочняюших воздействий на предмет исследования при помощи поверхностного пластического деформирования (ППД) с высоким усилием деформирования.

Для исследования ППД спроектировано устройство с тремя роликами тензометрическая головка, которая образует замкнутую систему сил. Спроектированный комплекс может выполнять моделирование упрочняющую поверхность детали при помощи ППД и процесс накатки резьбы и другого профиля на деталях диаметром от 10 до 100 мм с усилием деформации до 20000Н. Более совершенным использованием является многороликовое приспособление, где система сил замкнута. Для определения усилия при повышении прочности ППД внешних цилиндрических поверхностей спроектирован автоматизированный тензометрический комплекс. Следует отметить, что таких методик нет в учебниках и монографиях.

Исходя из разработанной цели проведено формулировка для решения таких задач:

1.Разработать конечноэлементную модель для исследования напряженно-деформированного состояния при деформировании предварительно нарезанного рельефа.

2.Выявить характер влияния конструктивно-технологических параметров процесса на результаты упрочнения.

3.Разработать методику расчета диаметра заготовки.

4.Разработать экспериментальный измерительный комплекс для оценки адекватности расчетных моделей.

Данные работы по исследованию необходимо провести в два этапа. Сначало нужно разработать геометрическую модель процесса накатывания резьб, которая позволяет

понять степень влияния на геометрию пятна контакта, текущих и накопленных радиальных обжатий; найти параметры изделия под накатывание резьб; оценить касательные скоростные величины в точке контакта. Так как данная модель не может учитывать силовые возможности процесса накатывания резьбы, для нахождения оптимальной схемы деформирования на втором этапе исследований необходимо создать конечноэлементную модель процессов пластического формообразования, которая позволяет проводить исследования полей напряжения и деформации в инструментах и заготовках

Для того, чтобы построить геометрическую модель для процесса накатывания резьбы, необходимо определить диаметр изделия под накатку.

Диаметр необходимо выбирать правильно, но это достаточно сложная задача при выполнении технологических процессов по накатки резъб, так как выбор диаметра влияет и на характеристики точности резьбы изделия и на характеристики стойкости резьбонакатного инструмента. Для выбора диаметра изделия под накатку резьбы применяют работы с различными эмпирическими и аналитическими формулами. Также диаметры изделий находят при помощи экспериментального метода.

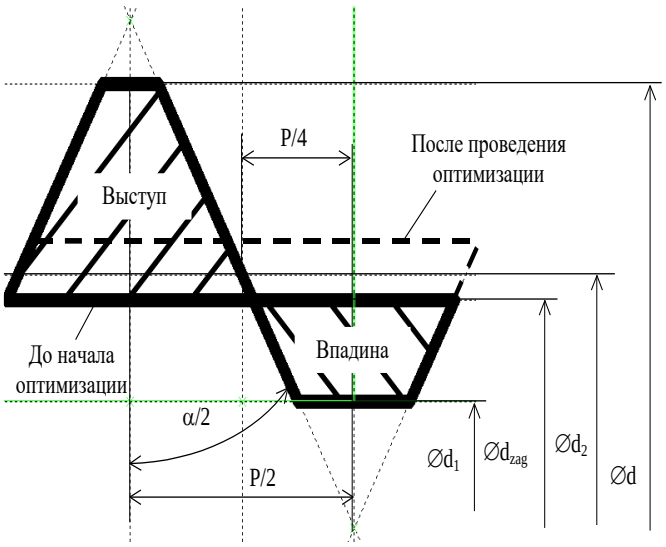


Рис. 1 – Профиль впадины и выступа при накатывании резьбы

При проведении **экспериментальных исследований были** рассмотрены вопросы по технологии накатывания резьб, конструкции экспериментальной головки и качества поверхностного слоя гетерогенно- упрочненных деталей.

Технологию накатывания резъб детали можно записать в следующей последовательности:

1. Выбирается сталь для повышения прочности при помощи деформации. Наивысшие показатели пластичных характеристик (более 8%) и ударной вязкости (более 50 Дж/см²), среднеуглеродистая сталь с 0,3…0,4% С.

2. Определяется нужная глубина упрочнения. Если глубина упрочнения слоя не выше 3…4 мм, то накатывание проводится с учетом статической нагрузки инструмента.

3. Вычисляется диаметр изделия под накатку резьб и диаметр инструмента с минимизацией взаимного проскальзывания инструмента и изделия.

4. С учетом рекомендации подбирается схема деформации.

5. По формуле рассчитывается допустимое число накопленного радиального обжимания.

$$h_{max} > \frac{d_{заг} - d_{з1}}{2}, \qquad (5)$$

При hшах<0,1…0,2мм более эффективным является повышение прочности нарезанных резьб ППД.

6. Рассчитываются параметры изделия под накатку резьбы с учетом подобранной схемы деформирования согласно рекомендации, и номинальных размеров заборной части резьбонакатного инструмента в соответствии с рекомендациями.

7. Назначаются технологические параметры обработки: энергии, скорости подачи.

Для выполнения процесса накатывания резьбы применяем экспериментальную головку. Данное устройство (тензометрическая головка) спроектировано с тремя роликами, благодаря этому образуется замкнутая система сил. Спроектированный комплекс может выполнять моделирование упрочняющей поверхности детали при помощи ППД и процесс накатки резьбы другого профиля на деталях диаметром от 10 до 100 мм с усилием деформации до 20000 Н.

Основной частью комплексного прибора выступает тензометрическая накатная головка. Общий вид на рисунке 2. Головка включает три одинаковых ролика 2, которые расположены с игольчатыми подшипниками на оси 3. Оси 3 входят в крышки 1, стянутые при помощи шпилек 5 и гаек 6. В стяжку устанавливается хвостовик 4, благодаря которому головка располагается в резцедержателе универсального токарного станка.

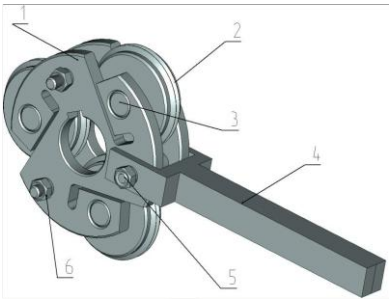


Рис. 2 – Общий вид экспериментальной тензометрической накатной головки

Степень и равномерность упрочнения при режуще-деформирующей обработке ППД будут зависеть от параметров волнистого рельефа: его формы, шага *P*, высоты *h*. С точки зрения технологии нарезания наиболее предпочтительными являются профили рельефа треугольной и круглой формы. В результате проведенного моделирования ППД методом конечных элементов в программе DEFORM 2D установлено, что треугольный профиль обеспечивает большую степень деформации и, следовательно, упрочнения, по сравнению с круглым. Наибольшая степень деформации при этом обеспечивается более острым профилем. Однако при обкатывании острого профиля возможно образование на поверхности заготовки складок – закатов.

В результате проведенных исследований разработана конечноэлементная модель для исследования напряженно-деформированного состояния при деформировании предварительно нарезанного рельефа, выявлен характер влияния конструктивно-технологических параметров процесса на результаты упрочнения, разработана методика расчета диаметра заготовки, разработан экспериментальный измерительный комплекс для оценки адекватности расчетных моделей.

В настоящее время проводятся исследования по выявлению характера влияния формы и размеров предварительно нарезаемых выступов на усталостную прочность деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гетерогенная режуще-деформирующая обработка ППД волнистого рельефа / Афонин А.Н., Ларин А.И., Макаров А.В., Мартынов Е.М. Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 2 (75). С. 33-38.

2. Обработка поверхностным пластическим деформированием волнистого рельефа / Афонин А.Н., Ларин А.И.., Каримов Р.Р. Сб. материалов Шестнадцатой Всероссийской научно-практической конференции. «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство», Старый Оскол, 2019. С. 247-251.

3. Ларин А.И. Саиджонзода А.А., Использование поверхностного пластического деформированиядля восстановления и упрочнения деталей. Сб. материалов Пятнадцатой Всероссийской научно-практической конференции.» Студенты и аспиранты», Старый Оскол. 2019. С.160-162.

4. Афонин А.Н., Ларин А.И., Мартынов Е.М. Повышение усталостной прочности резьб и профилей поверхностным пластическим деформированием // Сб. материалов Пятнадцатой Всероссийской научно-практической конференции. «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство», Старый Оскол, 2018. С. 217-221.

5. Гетерогенное упрочнение резьб и профилей поверхностным пластическим деформированием / Афонин А.Н., Макаров А.В., Ларин А.И., Мартынов Е.М. // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 6. С. 41-43.

ВЛИЯНИЕ АКТИВНОЙ МЕЖЭЛЕКТРОДНОЙ СРЕДЫ НА ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

Скрипцов Д.Р., Леонов С.Д., студенты 4 курса
Научный руководитель – ассистент, **Кудинов Е.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Процесс электроискрового легирования (ЭИЛ) основан на явлении электрической эрозии и полярного переноса материала анода (инструмента) на катод (деталь) при протекании импульсных разрядов в газовой среде. ЭИЛ металлических поверхностей осуществляется при искровой форме электрических разрядов при малой длительности (от 10^{-6} до 10^{-3} с). [1]

В качестве подложки использовались плоские образцы диаметром 38 мм из стали марки Ст3. Для электроискровой цементации использовались графитовые электроды, представленные на рисунке 1.

а

б

а – ВДК; б – ГЭ
Рис. 1 – Графитовые электроды:

Для осуществления электроискровой цементации использовались графитовые электроды для сварки и строжки металлов двух разных структур, содержащихся в них графитов:

1) электроды ВДК – воздушно-дуговые круглые, предназначенные для воздушно-дуговой резки металлов, удаления прибылей и дефектов литья, строжки электроприхваток и сварных швов, для сварки и других работ;

2) электроды ГЭ – графит электродный, малозольный, крупнозернистый общего назначения. Графит электродный по физико-механическим свойствам и способу получения схож с материалом графитированых электродов, применяемых в электротермических печах.

Характеристики электродов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики графитовых электродов

Марка электродов	ГЭ	ВДК
Удельное электрическое сопротивление, Ом·м, не более	21	0,1
Механическая прочность при изгибе, МПа, не менее	22	12
Содержание золы, %, не более	1,5	1,5
Плотность, г/см^3	1,5	2,0

Эксперименты проводились на установке электроискрового легирования модели Alier-Metal G53. Для формирования покрытий в межэлектродной среде диоксида углерода была произведена модернизация электрододержателя. Подача межэлектродной среды осуществлялась под давлением 0,1 МПа с расходом 10 л/мин.

Скорость формирования слоя составляла 0,94 см^2/мин (для электрода ГЭ) и 0,63 см^2/мин (для электрода ВДК). Слои формировались при следующих параметрах: сила тока I = 200 А, длительность импульсного разряда τ = 1500 мкс, частота следования импульсных разрядов f = 40 Гц, коэффициент энергии – 1,0. [2]

Внешний вид образцов до и после электроискровой цементации на рисунке 2.

а б в

Рис 2 – Внешний вид образцов
а – до ЭИЛ; б – после ЭИЛ ГЭ, в – после ЭИЛ ВДК

При проведении экспериментов фиксировались следующие параметры электроискровой цементации: массы образца и электрода, толщина образца, шероховатость поверхности образца (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительные характеристики образцов и электродов

Тип электрода	Масса образца, г		Масса электрода, г		Толщина образца, мм		Шероховатость покрытия Ra, мкм
	до	после	до	после	до	после	
ГЭ	62,395	62,390	15,550	15,510	6,550	7,235	более 12,5
ВДК	54,700	54,705	6,750	6,580	5,665	5,700	4,839

В электродах типа ГЭ содержится углерод крупной фракции, что обуславливает значительные перепады вершин и впадин на сформированной поверхности цементированного слоя. Шероховатость образцов, обработанных ГЭ электродами, превышает 12,5 мкм. На поверхности присутствуют точечные дефекты в виде выступов до 0,5 мм. [3]

В процессе электроискровой цементации электродом типа ВДК на поверхности образовывались прижоги. Протекание этого процесса обеспечило быстрый нагрев электрода по сравнению с ГЭ электродом и позволило сформировать поверхностный упрочненный слой с меньшим перепадом высоты и глубины микронеровностей. Для электродов ВДК шероховатость поверхности обработанных образцов составляет около 4,8 мкм.

Измерения твердости производились по методу Микро-Викерса с нагрузкой 0,05 кг. Полученные значения и схема измерения представлены в таблице 3 и на рисунках 3, 4

Таблица 3 – Параметры сформированных покрытий

Тип электрода	Глубина сформированного слоя, мкм	Твердость слоя, HRC	Твердость слоя, HV, кг·с/мм^2
ГЭ	94,17	32-38	312-374
ВДК	30,92	50-58	515-651

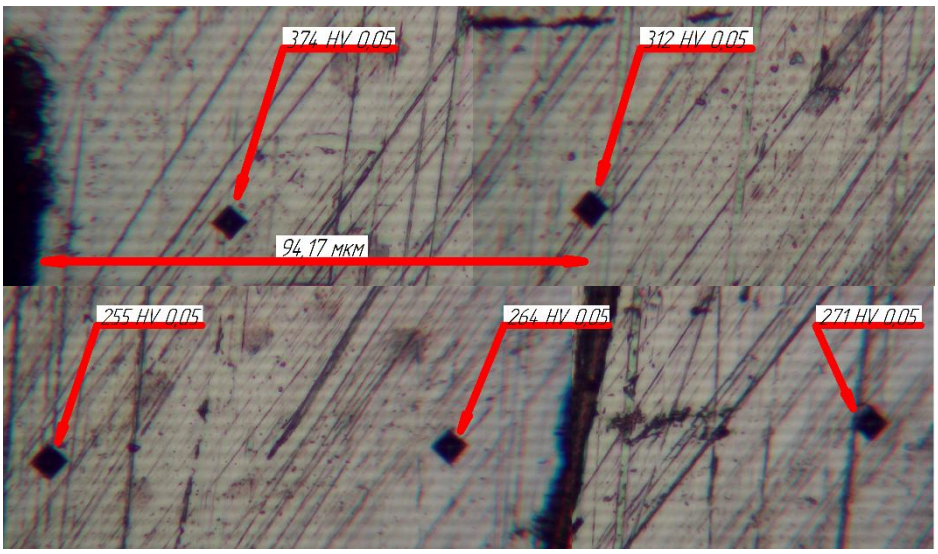


Рис. 3 – Твердость слоя, сформированного электродом типа ГЭ

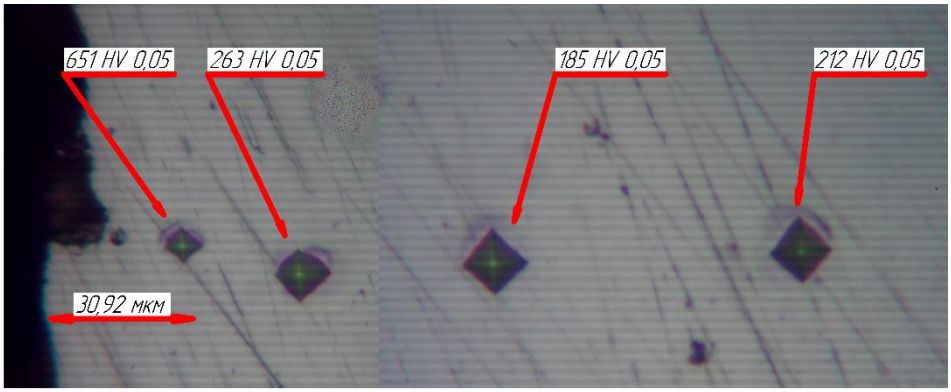


Рис. 4 – Твердость слоя, сформированного электродом типа ВДК

Цементированные слои, полученные электродом типа ГЭ имели в 1,7 раза меньшие значения твердости и в 3 раза большую глубину. Значения твердости неравномерно распределены по глубине слоев, что отрицательно сказывается на равномерности износа поверхностей, упроченных в этих условиях. Полученные зависимости распределения твердостей, сформированных слоев подтверждаются авторами в работе [4].

Таким образом, электроискровое легирование электродом ВДК является целесообразным для формирования цементированных слоев твердостью 50-58 HRC. Направлением дальнейших исследований является определение зависимости давления межэлектродной среды из диоксида углерода на параметры электроискровой цементации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гитлевич, А.Е., Михайлов В.В., Царканский Н.Я., Ревуцкий В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 196 с.

2. Лазаренко Н.И. О механизме образования покрытий при электроискровом легировании металлических поверхностей. Электронная обработка материалов. 1965, (1).

3. Орлов, И. А. Исследование микротвердости стали Х12МФ после электроискрового легирования графитовым электродом / И. А. Орлов // Научный альманах. – 2024. – № 3-4(113). – С. 48-50. – EDN QIPLYH.

4. Мезенцов, С. А. Формирование карбидных и карбонитридных покрытий на титане методом электроискрового легирования / С. А. Мезенцов, И. В. Родионов // Вопросы электротехнологии. – 2018. – № 1(18). – С. 80-84. – EDN XUMMTJ.

ВЛИЯНИЕ МЕЖЭЛЕКТРОДНОЙ СРЕДЫ В ВИДЕ ПОТОКА ВОЗДУХА НА ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ СТАЛИ

Скрипцов Д.Р., Леонов С.Д., студенты 4 курса
Научный руководитель – ассистент, **Кудинов Е.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Одним из перспективных методов повышения поверхностной прочности и износостойкости является электроискровое легирование. Данный процесс основан на переносе материала электрода на деталь при протекании кратковременных импульсных разрядах в газовой среде. В зависимости от состава электрода можно получать покрытия с различными физико-механическими свойствами. Применение графитовых электродов для электроискрового легирования является аналогом процесса цементации – насыщения поверхности стальной детали углеродом. Положительное влияние электроискрового легирования в различных защитных газовых средах подтверждается в исследованиях [1,2].

При проведении экспериментов электроискровая цементация выполнялась на торцевых поверхностях образцов из стали марки Ст3 диаметром 38 мм. Для обработки поверхностей образцов использовались графитовые электроды марок ВДК и ГЭ. Электроды ВДК – воздушно-дуговые круглые, предназначенные для воздушно-дуговой резки металлов, удаления прибылей и дефектов литья, строжки электроприхваток и сварных швов, для сварки и других работ. Электроды ГЭ – графит электродный, малозольный, крупнозернистый общего назначения. Графит электродный по физико-механическим свойствам и способу получения схож с материалом графитированых электродов, применяемых в электротермических печах. Характеристики электродов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики графитовых электродов

Марка электродов	ГЭ	ВДК
Удельное электрическое сопротивление, Ом·м, не более	21	0,1
Механическая прочность при изгибе, МПа, не менее	22	12
Содержание золы, %, не более	1,5	1,5
Плотность, г/см^3	1,5	2,0

Эксперименты проводились на установке электроискрового легирования модели Alier-Metal G53. Электроискровая цементация осуществлялась электродами ГЭ и ВГК со скоростью 0,94 и 0,63 см^2/мин, соответственно. Формирование цементированного слоя проводилось на следующих режимах: сила тока I = 200 А, длительность импульсного разряда τ = 1500 мкс, частота следования импульсных разрядов f = 40 Гц, коэффициент энергии – 1,0. [3].

Формирование слоев производилось в защитной воздушной среде из потока воздуха под давлением 0,2 МПа. Для этого электрододержатель был модернизирован. Подача воздуха осуществлялась с помощью специального сопла с расходом 10 л/мин.

Внешний вид установки и модернизированного электрододержателя представлен на рисунке 1.

Рис. 1 – Установка для электроэрозионного нанесения металлических покрытий Alier-Metal G53

На рисунке 2 представлен внешний вид образцов из стали марки Ст3 после электроискровой цементации.

а б

Рис. 2 – Внешний вид образцов
а – после ЭИЛ ГЭ; б – после ЭИЛ ВДК

При проведении экспериментов производилось сравнение следующих параметров: масса образца и электрода, толщина образца, шероховатость поверхности, сформированной методом электроискровой цементации. Значения указанных параметров представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительные характеристики образцов и электродов

Тип электрода	Масса образца, г		Масса электрода, г		Толщина образца, мм		Шероховатость покрытия Ra, мкм
	до	после	до	после	до	после	
ГЭ	62,150	62,140	15,600	15,550	6,465	6,820	более 12,5
ВДК	63,045	63,035	7,090	6,755	6,565	6,615	5,558

Анализируя данные, представленные в таблице 2, масса образцов при электроискровой цементации не изменилась. Масса электродов изменилась на 0,05 г для электрода типа ГЭ и на 0,335 г для электрода типа ВДК, что объясняется различной скоростью испарения графита под воздействием электрического тока в процессе электроискровой цементации.

Измерения твердости производились по методу Микро-Викерса с нагрузкой 0,05 кг. Полученные значения и схема измерения представлены в таблице 3 и на рисунках 3, 4.

Таблица 3 – Параметры сформированных покрытий

Тип электрода	Глубина сформированного слоя, мкм	Твердость слоя, HRC	Твердость слоя, HV, кг·с/мм^2
ГЭ	174,64	68-75	921-1485
ВДК	изменение твердости не обнаружено		

В результате анализа представленных в таблице 3 данных, было выявлено, что формирование цементированного слоя электродом типа ВДК в межэлектродной среде, сформированной из потока воздуха, на исследуемых в данной работе режимах легирования, не происходит.

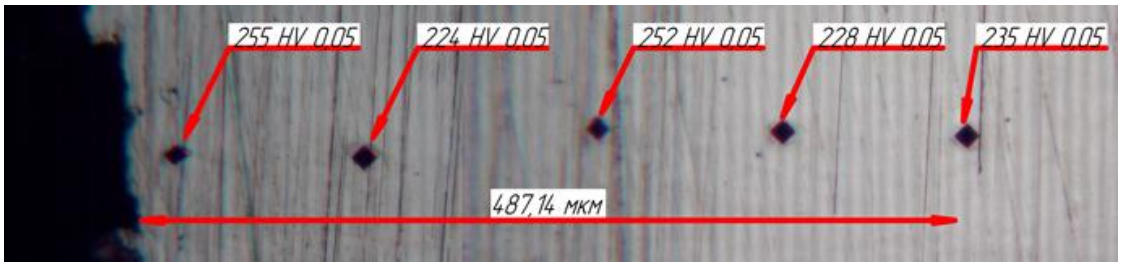


Рис. 3 – Твердость слоя, сформированного электродом типа ВДК

При электроискровой цементации электродом ГЭ, в свою очередь, происходит формирование упрочненного слоя на глубину до 175 мкм и твердостью до 75 HRC. Схожие результаты были получены в исследовании [4].

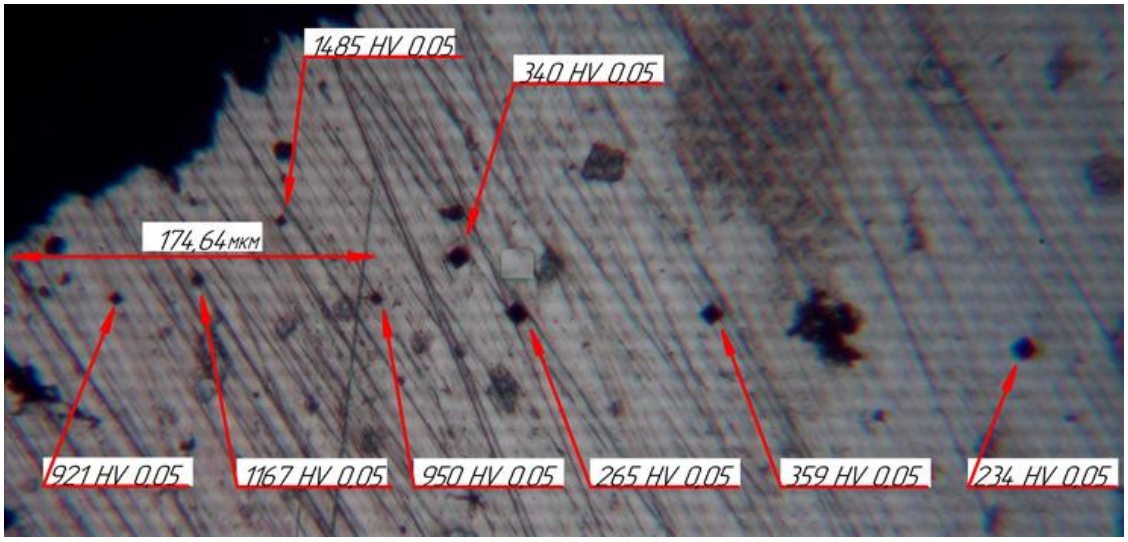


Рис. 4 – Твердость слоя, сформированного электродом типа ГЭ

Шероховатость поверхности по параметру Ra цементированного электродом типа ГЭ слоя составила более 12,5 мкм. Для цементированного электродом типа ВДК слоя шероховатость поверхности по параметру Ra составила 5,56 мкм. Такой характер формирования шероховатости поверхности цементированного слоя электродом типа ВДК может свидетельствовать либо об отсутствии цементированного слоя, либо об его малой толщине. [5]

Таким образом, целесообразно выполнить дальнейшие исследования по определению режимов электроискровой цементации электродом типа ВДК, обеспечивающих формирование цементированного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротаев Д.Н. Влияние газовых сред на технологические возможности электроискрового легирования: дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / Коротаев Дмитрий Николаевич. Благовещенск, 1998 – 203 с.

2. Лазаренко Н.И. О механизме образования покрытий при электроискровом легировании металлических поверхностей. Электронная обработка материалов. 1965, (1), 49-53.

3. Жулдыбин, А. А. Оптимизация энергетических параметров при механизированной электроискровой обработке / А. А. Жулдыбин, А. А. Владимиров, А. И. Шаповалов // Металлообработка. – 2025. – № 6(150). – С. 14-24. – EDN BMLAAT.

4. Орлов, И. А. Исследование микротвердости стали Х12МФ после электроискрового легирования графитовым электродом / И. А. Орлов // Научный альманах. – 2024. – № 3-4(113). – С. 48-50. – EDN QIPLYH.

5. Мезенцов, С. А. Формирование карбидных и карбонитридных покрытий на титане методом электроискрового легирования / С. А. Мезенцов, И. В. Родионов // Вопросы электротехнологии. – 2018. – № 1(18). – С. 80-84. – EDN XUMMTJ.

ПРЕИМУЩЕСТВО ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ХОДОВОГО КОЛЕСАКРАН-БАЛКИ, ИЗГОТОВЛННОГО ИЗ РАЗЛИЧНОГО МАТЕРИАЛА

Яблоков Д.А., студент 2-го курса
Научный руководитель - ст. преподаватель, **Ларин А.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Крановая система колесо – рельс является неоднородной системой, т. к. при взаимодействии колеса и рельса имеют место не геометрические условия связи, а изменяющиеся во времени силы трения. Трение прокатывания состоит из трения качения с наложением трения скольжения, в зоне контакта прокатывающихся тел возникают сменяющие друг друга зоны сцепления и зоны скольжения и результирующие из этого упругое проскальзывание и упругое пробуксовывание.

Наиболее характерными причинами износ ходового колеса крана являются интенсивные повторно-кратковременные режимы работы самого крана. Наличие упругих механических связей, зазоров и несовершенство применяемых систем электроприводов, приводит к преждевременному выходу из строя элементов крановой системы: усталостным разрушениям концевых балок крана, разрушениям валов механизма, повышенному износу ходовых колес, расшатыванию и износу рельсов.

Среди всех причин ранних отказов работы мостовых кранов наиболее остро стоит проблема малого срока службы крановых колес. Разрушение колес происходит в основном вследствие интенсивного износа их реборд из-за постоянных соударений и контакта с рельсами подкранового пути. Наиболее интенсивно краны эксплуатируются на металлургических заводах, по данным этих предприятий, в среднем замена всех колес крана происходит в течение года, а подкрановые пути в пролете цеха меняются с интервалом в два – три года в зависимости от интенсивности работы мостовых кранов.

В реальных системах качения, вследствие структурных деформаций, различий в шероховатости возникают неоднородные анизотропные зоны контактов поверхностей. Появляются пластичные деформации, между телами качения находятся промежуточные вещественные включения в форме адсорбционных слоев, частиц износа, загрязнения, влаги и т. п. Для отношения между относительным движением и горизонтальной силой, т. е. для закона замыкания сил, ввиду сложности этих влияющих воздействий, до сих пор не могут быть найдены достаточно достоверные, физически обоснованные математические подходы.

На мостовой кран действуют внешние и, передаваемые через силовое замыкание силы, которые являются следствием, прежде всего, воздействия:

- ускорения и замедления перемещений крановых тележек и крановых мостов,
- раскачивания груза как при горизонтальном, так и при вертикальном перемещении,
- скручивания при разворотах,
- ветрового воздействия.

Состояние ходового колеса или рельса определяется их износом. На ребордах ходовых колес износ характеризуется удалением слоя материала. Степень и серьезность такого износа зависит от твердости и структуры материала. При очень высоких нагрузках и невысокой твердости износ может привести к задиранию материалов поверхности.

Износ пары рельс-колесо происходит при поперечном скольжения крана, а продольное качение приводит к интенсивному износу только в режимах пробуксовки или юза, причем износ колес и рельсов от действия ударных нагрузок наиболее интенсивен.

Основной причиной выхода из строя ходовых колес является износ реборд при перекосе крана относительно рельсов кранового пути из-за неправильной установки колес относительно моста. Отрицательно сказывается на работоспособности ходовых колес пробуксовка, которая возникает при установке на механизме передвижения двигателя

завышенной мощности (это обстоятельство является причиной повышения уровня динамических нагрузок на механизм передвижения и на кран в целом).

Причинами выработки рабочих поверхностей катания ходовых колес являются:

- различие диаметров колес, приводимых в движение от одного двигателя (в результате чего происходят пробуксовывание и повышенный износ),
- применение литых колес вместо штампованных,
- отсутствие или некачественное выполнение термообработки колес.

Выработка реборд ходовых колес объясняется неточностью укладки кранового пути, наличием поперечного уклона и больших отклонений ширины колеи от номинальных размеров, а также непараллельностью осей колес.

Выбранное для модернизации оборудование необходимо исследовать в следующей последовательности: дата выпуска, дата начала эксплуатации на предприятии, коэффициент износа, срок службы, производительность, установленная мощность, персонала и др. Для того, чтобы предложить конкретные направления по модернизации существующей техники или созданию новой необходимо, чтобы решались следующие задачи:

- снижение массы и стоимости машины,
- повышение производительности труда,
- сокращение текущих затрат на изготовление продукции,
- улучшение обслуживания машины и т. п.

Проведем сравнительный расчет на долговечность ходового колеса, изготовленного из различного материала. Максимальная нагрузка на ходовое колесо тележки в предположении равномерного распределения нагрузки по всем четырем колесам:

$$P_1 = \frac{Q + G_\tau}{2+2},$$

где Q – вес груза, кг,

G_τ – вес тележки, кг,

$$P_1 = \frac{50000 + 63900}{4} = 28475\ H.$$

Расчет ходовых колес производится на контактное смятие, по формуле:

$$\sigma_э = 0.167 \cdot k_f \cdot \sqrt{\frac{P \cdot E}{b \cdot r_к}},$$

где b – длина контактной линии, b = 100 мм,

r_K – радиус колеса, 250 мм,

k_f – коэффициент, зависящий от режима работы и равный при весьма тяжелом режиме работы, k_f = 1,05,

P – расчетная нагрузка на колесо:

$$P = K_д \cdot K_н \cdot P_1$$

где $K_д$ – коэффициент динамичности, $K_д$=1, при скорости до 60 м/мин,

$K_н$ – коэффициент неравномерности распределения нагрузки по ширине рельса, $K_н$ = 2,

$$\sigma_э = 0.167 \cdot 1.05 \cdot \sqrt{\frac{2.1 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 28475}{10 \cdot 25}} = 38.3\ МПа$$

Допустимое значение эффективных напряжений:

$$[\sigma_э] = \sigma_{эо} \cdot \sqrt[9]{\frac{10^4}{N_{пр}}},$$

где $\sigma_{эо}$ – предельное значение эффективных напряжений, принимаемое в зависимости от выбранной твердости поверхности ходового колеса, для Стали 45=300 – 400НВ.

$$\sigma_{эо} = (0.25\ldots0.3)\text{НВ} = 0{,}25 \cdot 350 = 875\ \text{Н/м}^2$$

$\sigma'_{эо}$ – предельное значение эффективных напряжений, принимаемое в зависимости от выбранной твердости поверхности ходового колеса, для стали 18ХГТ=350-450НВ.

$$\sigma'_{эо} = (0.25...0.3)HB = 0.25 \cdot 400 = 1000\ H/м^2$$

$N_{пр}$ – приведенное число оборотов ходового колеса

$N_{пр}=N_1$

Число оборотов колеса под нагрузкой Р1:

$$N_1 = 60 \cdot \frac{V_t}{\pi \cdot D_{х.к.}} \cdot n_1,$$

где V_T – скорость тележки, м/мин,

$D_{х.к}$ – диаметр ходового колеса, м,

n_1 – число часов работы тележки под нагрузкой:

$$n_1 = 0.1 \cdot T,$$

При сроке службы колеса десять лет общее число часов работы:

$$T = 10 \cdot 365 \cdot K_г \cdot K_c \cdot 24 \cdot \frac{ПВ\%}{100},$$

где $ПВ\%$ - режим работы тележки, $ПВ\%=40$,

$$T = 10 \cdot 365 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 24 \cdot \frac{40}{100} = 33638\ час.$$

$$n_1 = 0.1 \cdot 33638 = 3364\ часов$$

Тогда $N_1 = 60 \cdot \frac{30}{3.14 \cdot 0.5} \cdot 3364 = 4 \cdot 10^6\ об.$

По формуле :

$$[\sigma_э] = 875 \cdot \sqrt[9]{\frac{10^4}{4 \cdot 10^6}} = 416\ МПа$$

$$[\sigma_э] = 875 \cdot \sqrt[9]{\frac{10^4}{4 \cdot 10^6}} = 416\ МПа$$

$[\sigma] = 416\ МПа > 383\ МПа.$

$[\sigma] = 475\ МПа > 383\ МПа.$

Применяя материал ходовых колес сталь 18ХГТ добиваемся повышения прочности в 1.15 раза. А также предлагаемая замена материала позволит:

1) сократить сроки ремонтов на 10% вследствие большего срока службы обжиговых тележек,

2) сократить загруженность кранового хозяйства цеха, так как замена колес составляет примерно 10% от всего времени текущего ремонта,

3) увеличить межремонтный период, за счет уменьшения количества текущих ремонтов первой категории.

Рис. 1 – Подвесная кран-балка

Таблица 1 – Сравнительные характеристики сталей, применяемых для изготовления ходовых колёс кран - балки

Химический состав стали18ХГТ

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Cu	Fe
0,17-0,23	0,17-0,37	0,8-1,1	до 0,3	до 0,035	до 0,035	1,0-1,3	0,03-0,09	до 0,3	До 96%

Химический состав стали СТ45

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	As	Cu	Fe
0,42-0,5	0,17-0,37	0,5-0,8	до 0,25	до 0,04	до 0,035	до 0,25	До 0,08	до 0,25	До97%

Предельное значение напряжений в зависимости от выбранной твердости
Сталь СТ45=300 – 400НВ
Сталь 18ХГТ=350-450НВ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горохов В. А. Проектирование технологической оснастки: учебник / В.А. Горохов, А.Г. Схиртладзе, И.А. Коротков. - Старый Оскол : ТНТ, 2010. - 432с.
2. Горохов В.А. Технология, оснащение и организация ремонтно-восстановительного производства: учебник / В.А. Горохов, В.П. Иванов, А.Г. Схиртладзе [и др.], под ред.проф. д.т.н. В.П. Иванова. - Старый Оскол: ООО"ТНТ", 2013. - 552 с.
3. Горохов В.А. Технология, оснащение и организация ремонтно-восстановительного производства: учебник / В.А. Горохов, В.П. Иванов, А.Г. Схиртладзе, В.П. Борискин , под ред. В.П. Иванова. - Старый Оскол: "ТНТ", 2020. - 552 с.
4. Типичные отказы подшипников и их причины. Электронный ресурс: bearingshops.ru›articles/opodshipnikah/id_3.html. Дата обращения: 08.12.2020 г.

СЕКЦИЯ 3 «АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО–ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНФОРМАТИКА»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ САЙТА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЦЕН НА НЕДВИЖИМОСТЬ: ИНФОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Абдуллаев А.Г., студент 4 курса
Научный руководитель – д.т.н., доцент **Глущенко А.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Предметной областью данного исследования является процесс анализа и прогнозирования стоимости объектов недвижимости с использованием нейросетевых моделей и информационных технологий. В рамках рассматриваемой системы осуществляется сбор, хранение и обработка данных об объектах недвижимости, поступающих из различных источников объявлений, а также выполнение прогнозов стоимости на основе обученных моделей машинного обучения [1].

Процесс прогнозирования стоимости недвижимости включает следующие этапы: получение исходных данных об объекте, их структурирование и сохранение в базе данных, последующую обработку с использованием нейросетевых моделей и формирование прогнозируемого значения стоимости. Для обеспечения корректной работы системы необходимо учитывать множество факторов, влияющих на цену объекта недвижимости, включая его физические характеристики (площадь, количество комнат, этаж), местоположение, год постройки, геолокационные данные и макроэкономические факторы [2].

В системе предусмотрено использование нескольких моделей прогнозирования, отличающихся архитектурой (количество слоёв, функции активации, оптимизатор) и параметрами обучения (количество эпох, время обучения). Каждая модель характеризуется набором метрик качества, позволяющих оценить точность и эффективность прогнозирования. Управление процессами обучения моделей и анализа показателей качества работы требует организации структурированного хранения данных и поддержки связей между соответствующими сущностями.

Пользователи системы взаимодействуют с функционалом прогнозирования через веб-интерфейс, формируя запросы на расчёт стоимости объектов недвижимости. Все выполненные прогнозы и пользовательские запросы подлежат сохранению в базе данных для последующего анализа, контроля корректности работы системы и повышения качества прогнозирования. Таким образом, база данных играет ключевую роль в обеспечении целостности информации и поддержке аналитических процессов [3].

Предметная область характеризуется наличием большого количества взаимосвязанных сущностей (объекты недвижимости, пользователи, модели машинного обучения, архитектуры, обучающие выборки, макроэкономические факторы, прогнозы) и сложных логических зависимостей между ними, а также динамическими процессами, связанными с обновлением данных, обучением моделей и выполнением прогнозов. Это обуславливает необходимость проектирования базы данных, приведённой к третьей нормальной форме и обеспечивающей надёжное управление данными в рамках интеллектуальной системы прогнозирования стоимости недвижимости.

Проектируемая база данных предназначена для централизованного, структурированного и непротиворечивого хранения всей информации, необходимой для функционирования сайта прогнозирования цен на недвижимость.

Основное назначение БД раскрывается через следующие функции:

1. **Хранение справочной информации**

БД содержит нормативно-справочные данные: виды объявлений, источники данных, архитектуры нейросетей, сведения о программистах. Это позволяет унифицировать записи и избежать дублирования.

2. **Управление объектами недвижимости**

Каждый объект (квартира, дом, коммерческое помещение) сохраняется с полным набором характеристик: адрес, площадь, количество комнат, этаж, год постройки, цена. Объект привязывается к пользователю, который его добавил, и к источнику объявления.

3. **Поддержка макроэкономических данных**

БД хранит временные ряды макроэкономических показателей, что позволяет впоследствии анализировать влияние внешних факторов на стоимость недвижимости и корректировать прогнозы.

4. **Управление моделями машинного обучения**

Фиксируются все обученные модели машинного обучеения: их архитектура, гиперпараметры (количество эпох, оптимизатор, функция активации), дата и время обучения, использованная обучающая выборка. Это обеспечивает воспроизводимость экспериментов.

5. **Фиксация прогнозов**

Каждый выполненный прогноз сохраняется с указанием:

– даты прогноза;
– пользователя, запросившего прогноз;
– объекта недвижимости;
– использованной модели машинного обучения;
– макроэкономического фактора, действовавшего на момент прогноза.

Для одного прогноза могут храниться несколько значений (разные горизонты прогнозирования: 1 месяц, 6 месяцев и т.д.).

6. **Формирование истории и аудит**

БД накапливает историю всех прогнозов, что позволяет пользователю просматривать ранее полученные результаты, а разработчику - анализировать точность моделей во времени.

Таким образом, база данных выступает не просто пассивным хранилищем, а активным компонентом системы, обеспечивающим целостность, согласованность и долговременную сохранность всех данных, необходимых для работы сайта прогнозирования.

Инфологическая модель (модель «сущность–связь») описывает предметную область на концептуальном уровне, независимо от конкретной СУБД [3]. Она включает:

– **сущности** - классы объектов реального мира;
– **атрибуты** - свойства сущностей;
– **связи** - отношения между сущностями с указанием кратности (1:1, 1:N, M:N).

На основе анализа предметной области и с учётом назначения БД были выделены следующие сущности (табл. 1). Подчёркиванием выделены первичные ключи.

Таблица 1 – Описание сущностей

Сущность	Атрибуты	Описание
Вид объявления	<u>ID_Вида</u> Вид использования	Информация о том, как будет использоваться объект недвижимости.
Источник объявлений	<u>ID_Источника</u> URL Название	Содержит информацию об источниках, откуда были взяты объявления
Объект недвижимости	<u>ID_Объекта</u> Адрес Площадь	Содержит полную информацию об объекте недвижимости

Сущность	Атрибуты	Описание
	Количество комнат Год постройки Этаж ID_Вида ID_Пользователя Дата размещения Цена ID_Источника	нужную для прогнозирования цены.
Пользователь	ID_Пользователя Почта Логин Пароль Телефон Статус подписки	Информация о пользователе.
Состав обучающей выборки	ID_Объекта ID_Выборки	Какие данные, к какой выборке относятся
Обучающая выборка	ID_Выборки Размер выборки Период данных	Сведенья о том за какой период в выборке находятся данные об объектах недвижимости.
Макроэкономический фактор	ID_Фактора Процент льготной ипотеки Ставка ЦБ Сред. цена стройматериалов Дата	Информация о значениях макроэкономических факторов, на определённую дату.
Прогноз	ID_Прогноза ID_Фактора Дата прогноза ID_Пользователя ID_Модели ID_Объекта	Содержит информацию о том кто сделал прогноз, с помощью какой модели и спрогнозированные значения.
Результаты прогноза	ID_Прогноза Горизонт прогноза Прогнозируемая цена	Информация о том за какие месяца спрогнозирована цена.
Модель машинного обучения	ID_Модели Дата обучения Количество эпох Время обучения ID_Программиста ID_Выборки ID_Архитектуры	Содержит данные об гипперпараметрах модели и о программисте настраивающего их.
Архитектура модели	ID_Архитектуры ID_Программиста Оптимизатор Функция активации Количество слоёв Название аритектуры	Содержит информацию о архитектуре модели.

Сущность	Атрибуты	Описание
Программист	ID_Программиста Контактный телефон Опыт работы Почта ФИО	Информация о программистах.

Обоснование выбора сущностей и связей

– **Вид объявления** и **Источник объявлений** выделены в отдельные сущности, чтобы избежать повторения строковых значений в каждой записи об объекте недвижимости (нормализация) [3].

– **Пользователь** и **Программист** разделены, так как они имеют разные наборы атрибутов и роли в системе. Объединение в одну таблицу привело бы к множеству пустых полей.

– **Архитектура модели** отделена от **Модели машинного обучения**, потому что одна архитектура может быть использована для обучения множества моделей (с разными гиперпараметрами и на разных выборках). Это снижает избыточность.

– **Состав обучающей выборки** введена как промежуточная таблица для связи «многие ко многим» между Объект_недвижимости и Обучающая_выборка. Один объект может входить в несколько выборок, а одна выборка - содержать много объектов.

– **Прогноз** и **Результаты прогноза** разделены, так как один прогноз может давать несколько значений цены (на разные сроки). Поля Горизонт_прогноза и Прогнозируемая_цена образуют повторяющуюся группу, что недопустимо в 1НФ. Вынос в отдельную таблицу решает эту проблему.

На рисунке 1 представлена инфологическая модель в графической нотации «сущность–связь».

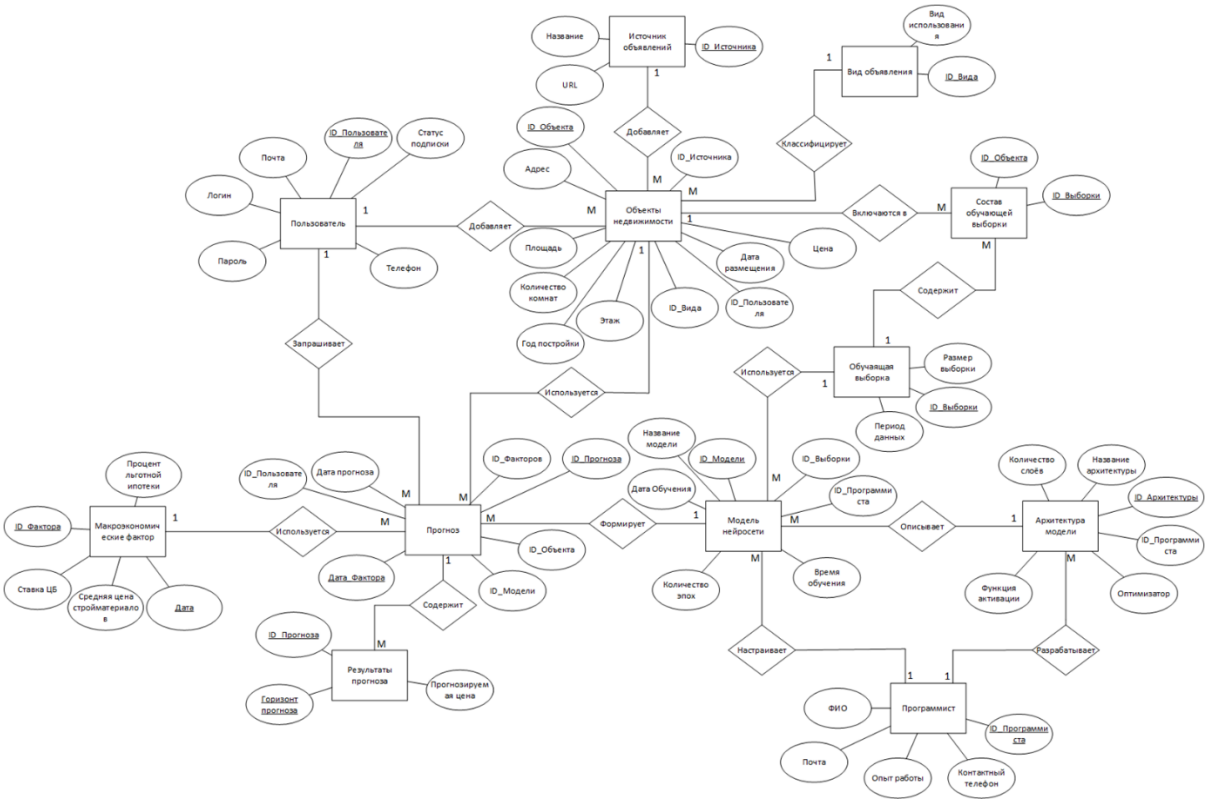


Рис. 1 – Инфологическая модель базы данных

Как видно из диаграммы, центральной сущностью является «Объекты недвижимости», так как именно вокруг неё строится основная логика системы: объекты содержат ключевые характеристики (адрес, площадь, цена, количество комнат и др.) и связаны с пользователями, которые их добавляют, а также с источниками и видами объявлений откуда объявления берутся для обучения моделей. Сущность «Прогноз» связывает объекты, модели и макроэкономические факторы, позволяя учитывать внешние условия при расчёте предсказаний. «Модель нейросети» обучается на основе выборок, описывается через архитектуру модели и настраивается программистом, после чего используется для формирования прогнозов. Результаты прогнозов хранятся отдельно и содержат предсказанную цену и горизонт прогноза. Таким образом, все сущности связаны в единую систему, обеспечивающую сбор данных, их обработку, обучение моделей и получение прогнозов стоимости недвижимости [4].

Таким образом, представленное моделирование является основой для последующей практической реализации автоматизированной системы на основе спроектированной базы данных. Разработанная инфологическая модель может быть непосредственно реализована в любой реляционной СУБД (например, Microsoft SQL Server или MySQL) и служить фундаментом для создания полноценного веб-сайта прогнозирования. Такая система способна повысить эффективность и объективность оценки стоимости недвижимости для риелторов, покупателей и инвесторов на рынке недвижимости [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.
2. Пупенцова С.В. Экономика недвижимости : учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 176 с.
3. Карпова Т.С. Базы данных: модели, разработка, реализация. – СПб.: Питер, 2001. – 304 с.
4. Петровский Е.С., Шеина С.Г., Чубаров Е.В. Информационные технологии в управлении недвижимостью. – М.: Издательство АСВ, 2015. – 280 с.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ВРЕДОНОСНОГО ПО

Абрамова Ж.С., студент 4 курса
Научный руководитель – ст. преподаватель **Ващекина Н.В.**
ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», Курская область г.Курск

В работе рассматривается подход к обнаружению вредоносного программного обеспечения (ВПО) на основе динамического анализа сетевого трафика с применением методов машинного обучения. Предложена архитектура системы классификация сетевых сессий, использующая ансамбль решающих деревьев (Random Forest) и градиентных бустинг (XGBoost). Приведены результаты эксперимента на публичном наборе данных CIC-IDS-2017, демонстрирующие точность обнаружения 98.7% при уровне ложных срабатываний 1,2%

Введение. Современные корпоративные сети ежедневно подвергаются атакам с использованием вредоносного программного обеспечения. Традиционные сигнатурные методы (антивирусы, IDS/IPS на основе правил) демонстрируют низкую эффективность против нулевых дней (zero-day) – новых, ещё не изученных угроз.

Альтернативой выступают поведенческие методы, анализирующие не сигнатуры файлов, а аномалии в сетевой активности. ВПО, заряженное устройство неизбежно генерирует специфический сетевой трафик: соединения с C&C-серверами, сканирование портов, попытки распространения по локальной сети, DDoS-активность.

Цель работы – разработка и экспериментальная оценка методы динамического анализа сетевого трафика для выявления ВПО с использованием алгоритмов машинного обучения, способных работать в реальном времени.

2.Постановка задачи и архитектура системы

2.1 Что такое динамический анализ трафика?

Динамический анализ в отличие от статического (просмотр файла) наблюдает за поведением программы или системы в процессе работы. В контексте сети это означает: Сбор пакетов (PCAP) за интервал времени (например, 5 сек). Извлечение признаков из потоков (flows) – последовательностей пакетов между двумя узлами.

Классификация сессии как «нормальная» или «вредоносная».

2.2. Архитектура предлагаемой системы

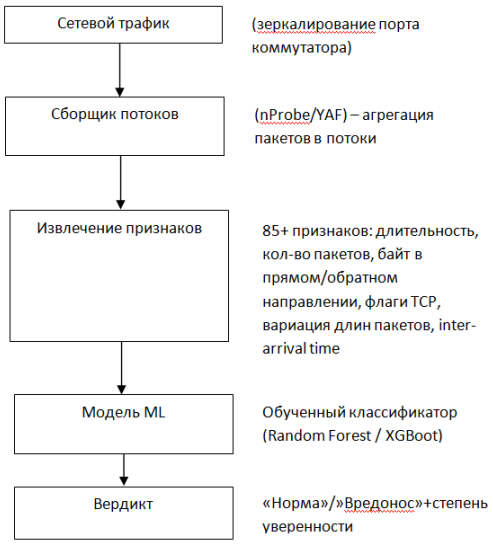


Рис.1 – Архитектура предлагаемой системы

Ключевое требование – работа в реальном времени: решение за время между завершением потока и отправкой следующего пакета.

2.3 Выбор признаков

Используются признаки, доступные без глубокой инспекции пакетов (DPI) – на основе NetFlow/IPPIX:

Таблица 1 – Выбор признаков

Группа признаков	**Примеры**
Базовые	Длительность потока (с), количество пакетов, количество байт
Скоростные	Байт/с, пакетов/с
Направленные	Байт от источника, байт от получателя, отношение forward/reverse
Флаги TCP	Количество SYN, FIN, RST, ACK, срочных флагов
Статические	Средняя длина пакета, вариация длины, средний inter-arrival time
Портовые	Номер порта назначения, флаг «привилегированный порт»

3. Применяемые алгоритмы машинного обучения

3.1 Случайный лес (Random Forest)

Ансамбль из множества решающих деревьев, каждое из которых обучается на случайной подвыборке данных и случайном подмножестве признаков.

Преимущества для сетевого трафика:

Устойчив к шуму (пакеты могут теряться)

Хорошо работает с категориальными признаками (номера портов)

Позволяет оценить важность признаков

Скорость классификации – микросекунды

3.2 Градиентные бустинг (XGBoot)

Последовательное обучение деревьев, где каждое следующее исправляет ошибки предыдущих.

Преимущества:

Более высокая точность на сложных зависимостях.

Встроенная регуляризация (борьба с переобучением).

Эффективная работа с несбалансированными классами (вредоносного трафика всего меньше).

3.3 Метрики оценки

Accuracy = (TP+TN) / (TP + TN + FP + FN) – общая точность.

Precision = TP / (TP + FP) – точность положительных предсказаний.

Recall = TP / (TP + FN) – полнота (сколько угроз найдено).

Recall = TP / (TP + FN) – полнота (сколько угроз найдено).

F1-score = 2 * Precision * Recall / (Precision + Recall) – гармоническое среднее.

FPR = FP / (FP + TN) – уровень ложных срабатываний.

4. Экспериментальная оценка

4.1 Данные для эксперимента

Использован публичный набор CIC-IDS-2017 (Канадский институт кибербезопасности).

Характеристики:

5 дней смешанного нормального и атакующего трафика.

Общий объём: ~ 600,000 потоков (flows).

Атаки: DDoS, Brute Force, Web-атаки, (SQLi, XSS), Botnet (C&C), Port Scan, Infiltration

4.2 Предобработка данных

1. Удаление потоков с нулевой длительностью (артефакты сбора).
2. Нормализация числовых признаков методом Z-масштабирования.
3. Балансировка классов методом Random Undersampling (вред. потоков ~ 20%)
4. Разделение: 80% - обучение, 20% - тест.

4.3 Результаты

Таблица 2 – Выбор признаков

Алгоритм	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	FPR
Logistic Regression (базовый)	0,892	0,87	0,81	0,84	0,051
Decision Tree (одно дерево)	0,941	0,93	0,91	0,92	0,029
Random Forest (100 деревьев)	0,974	0,97	0,96	0,965	0,014
XGBoot (100 интераций)	0,987	0,986	0,981	0,9835	0,012

Лучший результат – XGBoost с параметрами: max_depth=6, learning_rate=0,1, subsample=0,8

4.4 Важность признаков (топ-5 по XGBoot)

Таблица 3 – Важность признаков

Признак	Важность (F-score)	Физический смысл
Flow Duration	0,18	Вредоносные потоки часто короткие (сканирование) или очень длинные (ботнет)
Fwd Packet Length Mean	0,15	Средняя длина пакета от источника – отличается при DDoS
Bwd Packet Length Std	0,12	Вариация ответов сервера – при аномалиях высокая
SYN Flag Count	0,11	Много SYN без ACK – признак SYN-flood или сканирования
Init_Win_bytes_forward	0,09	Размер окна – TCP – вредоносный софт часто использует нестандартные значения

4.5 Производительность

Оценка производительности проводилась на тестовом стенде со следующей конфигурацией: CPU: Intel i7-9700 (8 ядер / 8 потоков), RAM: 16 ГБ.

Результаты: Время обучения модели (XGBoost): На датасете, содержащем 600 000 потоков (сетевых сессий) и 85 признаков, обучение заняло 47 секунд. Это приемлемое время для периодического переобучения модели на новых данных (например, раз в несколько часов или сутки). Время классификации одного потока (инференс): В среднем — 0,23 мс на поток. Это крайне низкая задержка, которая позволяет использовать модель в системах реального времени (Real-Time), включая inline-анализ трафика без существенного влияния на скорость передачи. Пропускная способность обработки: ~4300 потоков в секунду на одном узле без распараллеливания на несколько ядер.

Такой производительности достаточно для обслуживания канала 10 Гбит/с, поскольку при среднем размере сетевого пакета ~1500 байт и средней длине потока из нескольких пакетов, количество новых потоков в секунду даже на загруженном линке редко превышает 3000–5000. При необходимости пропускную способность можно линейно масштабировать добавлением ядер или горизонтальным развёртыванием.

5. Сравнение с традиционными методами

Таблица 4 – Сравнение с традиционными методами

Метод	Точность	Обнаружение zero-day	Требует обновлений	Работа в реальном времени
Сигнатурный IDS (Snort)	~70%	Нет	Ежедневно	Да
Антивирус по сигнатурам	~85%	Нет	Ежечасно	Да (с задержкой)
Песочница (статическая)	~90%	Частично	Редко	Нет (минуты)
ML на потоке (предлагаемый)	~98%	Да	Ежеквартально	Да (мс)

Главный вывод: ML-метод выигрывает по точности и способности находить неизвестное ВПО, но проигрывает в интерпретируемости (почему алгоритм решил, что это вредонос – «чёрный ящик»).

6.Практические рекомендации для внедрения

Гибридная схема: использовать ML как первый эшелон (отсеивает ~ 90% заведомо чистого трафика), подозрительные потоки отправлять в песочницу на углублённый анализ.

Адаптивное обучение: раз в месяц переобучать модель на новых данных (появляются новые виды атак). Защита от отравления модели (poisoning): контроль качества размеченных данных – только проверенные источники. Интеграция с SIEM: передача вероятности угрозы в систему управления инцидентами.

7.Заключение

В работе показано, что алгоритмы машинного обучения, в частности XGBoost, позволяют достичь высокой точности (98,7%) при выявлении вредоносного ПО на основе динамического анализа сетевого трафика при низком уровне ложных срабатываний (1,2%).

Основные результаты:

1. Предложена архитектура системы потокового анализа трафика для обнаружения ВПО.
2. Выявлены наиболее информативные признаки (длительность потока, средняя длина пакетов, SYN-флаги). Достигнута производительность, достаточная для работы в реальном времени на каналах до 10 Гбит/с.

3. Показано преимущество над сигнатурными методами в обнаружении новых, неизвестных угроз.

Перспективы дальнейших исследований:

Применение глубоких нейронных сетей (CNN на временных рядах пакетов).

Использование федеративного обучения для защиты конфиденциальности трафика.

Интеграция с анализом DNS-запросов (домены C&C, DGA-алгоритмы).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sharafaldin, I., Lashkari, A.H., & Ghorbani, A.A. (2018) Toward generating a new intrusion detection dataset and intrusion traffic characterization. ICISSP 2018.
2. Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoot: A scalable tree boosting system. KDD 2016.
3. Breiman, L. (2001) Random Forests. Machine Learning, 45(1), 5-32.
4. Cisco Systems.(2023). NetFlow and IPFIX Flow Collection Best Practices.

МОДЕРНИЗАЦИЯ УЗЛА СГУЩЕНИЯ ХВОСТОВОЙ ПУЛЬПЫ

Агарков Н.А., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., старший преподаватель **Анпилов А.О.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В процессе переработки минерального сырья образуется хвостовая пульпа, представляющая собой смесь воды и мелкодисперсных твёрдых частиц. Для уменьшения потерь воды и обеспечения её повторного использования применяется процесс сгущения пульпы [1].

Сгущение осуществляется в аппарате — сгустителе. В сгуститель поступает хвостовая пульпа из технологического процесса. Внутри аппарата под действием силы тяжести происходит осаждение твёрдых частиц, в результате чего происходит разделение пульпы на жидкую и твёрдую фазы.

В верхней части аппарата образуется слой осветлённой воды. Осветлённая вода через перелив отводится из сгустителя и возвращается в технологический процесс в качестве оборотной воды. Использование оборотной воды позволяет значительно сократить расход свежей воды и повысить экономичность производства.

В нижней части сгустителя происходит накопление сгущённого осадка, представляющего собой пульпу с повышенной концентрацией твёрдых частиц. Для перемещения осадка по дну аппарата используется гребковый механизм с тележкой. Гребковый механизм обеспечивает перемещение осевшего материала к центральной части аппарата.

Удаление сгущённого осадка осуществляется с помощью песковых насосов. Насосы откачивают сгущённую пульпу из нижней части сгустителя и подают её в приёмный зумпф, откуда она по трубопроводу направляется в хвостохранилище.

Контроль и управление технологическим процессом осуществляется с помощью автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) [2].

Для обеспечения устойчивой и безопасной работы сгустителя необходимо контролировать ряд технологических параметров, характеризующих состояние процесса сгущения хвостовой пульпы. Контроль параметров осуществляется с помощью средств контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА), входящих в состав АСУ ТП.

К основным технологическим параметрам процесса относятся уровень пульпы в сгустителе, плотность сгущённой пульпы, расход хвостовой пульпы, давление в трубопроводах, уровень в приёмном зумпфе, а также электрические параметры приводов насосов и гребкового механизма [3].

Контроль уровня пульпы в сгустителе необходим для предотвращения переполнения аппарата или его опорожнения. Поддержание уровня в допустимых пределах обеспечивает стабильную работу технологического оборудования и нормальное протекание процесса осаждения твёрдых частиц.

Плотность сгущённой пульпы является одним из основных показателей эффективности работы сгустителя. По значению плотности можно судить о концентрации твёрдого вещества в сгущённом остатке. Изменение плотности может свидетельствовать о нарушении режима работы аппарата или изменении состава исходной пульпы.

Контроль расхода хвостовой пульпы позволяет оценивать производительность установки и корректно управлять работой насосного оборудования. Недостаточный или избыточный расход может привести к нарушению режима сгущения.

Давление в трубопроводах контролируется для оценки состояния насосов и трубопроводной системы. Повышенное давление может свидетельствовать о засоре трубопровода или перегрузке насосов, а пониженное — о недостаточной подаче пульпы.

Контроль уровня в приёмном зумпфе необходим для предотвращения переполнения ёмкости и обеспечения устойчивой работы насосной станции.

Для контроля работы механического оборудования используется измерение тока электродвигателей насосов и привода гребкового механизма. Повышение тока может указывать на перегрузку оборудования или неисправность механизма. Контроль указанных параметров осуществляется с помощью средств автоматизации, входящих в состав комплекса технических средств (КТС).

Для измерения уровня применяются датчики уровня, устанавливаемые в сгустителе и приёмном зумпфе. Сигналы от датчиков поступают в систему управления в виде аналоговых сигналов. Для контроля плотности пульпы используются плотномеры, позволяющие определять концентрацию твёрдого вещества в потоке. Измерение расхода пульпы осуществляется с помощью расходомеров, установленных на трубопроводах. Для контроля давления применяются датчики давления, устанавливаемые на напорных линиях насосов. Контроль работы электродвигателей осуществляется с помощью датчиков тока и сигналов состояния, поступающих в систему управления в виде дискретных сигналов.

Управление насосным оборудованием осуществляется с помощью преобразователей частоты (ПЧ), которые позволяют изменять скорость вращения электродвигателей и регулировать производительность насосов. Основным элементом системы управления является программируемый логический контроллер (ПЛК), который выполняет обработку сигналов, управление исполнительными механизмами и передачу информации на станцию оператора [4]. Для визуализации технологического процесса используется SCADA-система, обеспечивающая отображение параметров, контроль состояния оборудования и регистрацию аварийных сигналов.

Использование современных средств автоматизации позволяет обеспечить стабильную работу сгустителя, повысить надёжность оборудования и снизить влияние человеческого фактора на технологический процесс.

Существующая система управления узлом сгущения хвостовой пульпы обеспечивает контроль основных технологических параметров, однако имеет ряд недостатков, снижающих эффективность работы оборудования и надёжность технологического процесса.

Управление насосным оборудованием в значительной степени осуществляется оператором вручную. Включение и отключение песковых насосов производится по команде оператора без автоматического регулирования производительности.

В существующей системе отсутствует автоматическое регулирование плотности сгущённой пульпы. При изменении состава исходной пульпы или расхода хвостов возможны колебания концентрации твёрдого вещества, что приводит к ухудшению процесса сгущения и увеличению нагрузки на насосное оборудование. Также не реализована система автоматического резервирования насосов. При выходе из строя одного из агрегатов требуется вмешательство обслуживающего персонала.

Перечисленные недостатки снижают эффективность работы сгустителя, увеличивают вероятность возникновения аварийных ситуаций и повышают нагрузку на обслуживающий персонал.

В связи с этим возникает необходимость модернизации автоматизированной системы управления технологическим процессом. Основной целью модернизации является повышение надёжности работы оборудования, улучшение качества управления технологическим процессом и снижение влияния человеческого фактора.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- внедрить автоматическое регулирование плотности сгущённой пульпы;
- реализовать автоматическое управление группой песковых насосов;
- обеспечить автоматическое резервирование насосного оборудования;
- внедрить систему защит и блокировок;
- обеспечить централизованный контроль параметров технологического процесса;
- реализовать удобную систему визуализации и диспетчерского управления.

Решение указанных задач позволит повысить стабильность технологического режима и снизить вероятность аварийных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайсберг Л.А. Процессы и аппараты обогащения полезных ископаемых. — М.: Недра, 2004.
2. Шишмарёв В.Ю. Автоматизация технологических процессов. — М.: Академия, 2012.
3. Клюев А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
4. Петров И.В. Промышленные программируемые контроллеры в системах автоматизации. — М.: Инфра-М, 2016.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С УЧЕТОМ РАБОТЫ ЗАСЛОНОК ВЫГРУЗКИ МЕТАЛЛА

Алейник О.С., магистрант 2 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Фомин А.В.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Металлургический комплекс характеризуется высокой энергоёмкостью, и значительная часть затрат приходится на процессы нагрева металла перед прокаткой [2, 3]. Нагревательные печи являются одними из основных потребителей энергоресурсов в прокатных цехах, поэтому повышение эффективности их работы напрямую влияет на себестоимость готовой продукции. В этой связи задача энергосбережения при нагреве металла остаётся актуальной и перспективной [1].

Одной из ключевых проблем управления нагревательными печами является поддержание стабильного внутрипечного давления. Этот параметр критически важен для обеспечения качественного теплообмена, эффективной рекуперации энергии и точного регулирования температурного режима [8]. Однако на давление в печи оказывают существенное влияние дискретные технологические операции, в частности выгрузка металла, при которой открываются заслонки выгрузочных окон. Это приводит к нарушению герметичности рабочего пространства, резкому падению давления, изменению тяги и, как следствие, к дестабилизации температуры в зонах печи.

Существующие системы автоматического управления, построенные на базе классических ПИД-регуляторов, реагируют на такие возмущения по принципу обратной связи. Регулятор начинает отрабатывать изменение давления только после того, как оно уже произошло, что приводит к колебаниям технологических параметров, повышенному расходу газа и снижению общей энергоэффективности печи [4, 5, 6].

На основе анализа реальных технологических данных печи нагрева было получено дифференциальное уравнение первого порядка, описывающее динамику изменения давления при открытии заслонок выгрузки. Модель представляет собой апериодическое звено, на вход которого подаётся дискретный сигнал статуса выгрузки, а на выходе формируется прогнозируемое изменение давления dP. Полученное звено представлено в формуле 1:

$$\Delta P = W(s) = \frac{2{,}14}{12{,}67S+1} \qquad (1)$$

На базе данной модели на интегрированном стенде, включающем программные среды MATLAB, WinCC, STEP 7 и эмулятор контроллера Siemens, были разработаны и экспериментально проверены методы компенсации возмущающих воздействий. Структурная схема моделирования приведена на рисунке 1.

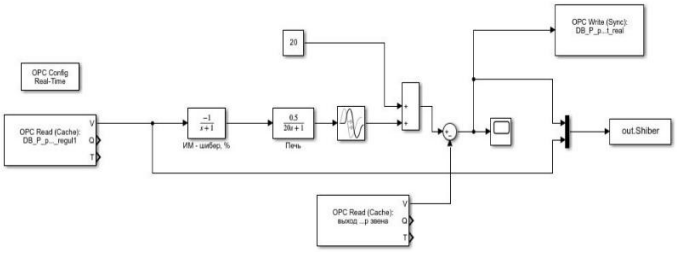


Рис. 1 – Структурная схема моделирования

На схеме были протестированы следующие методы компенсации возмущения, вызванного открытием заслонки:

1. При статичном положении шибера.
2. При компенсации возмущения ПИД-регулятором без учета dP.
3. При компенсации возмущения методом «ПИД + dP», предполагает добавление к основной уставке давления dP, рассчитанной по математической модели. Таким образом, регулятор получает информацию о предстоящем возмущении заранее и начинает корректирующее воздействие до фактического падения давления. Данный метод показал хорошие результаты на начальном этапе действия возмущения, однако при завершении операции выгрузки, когда заслонки закрываются, наблюдалось существенное перерегулирование из-за запаздывания реакции на прекращение воздействия.

Для устранения этого недостатка был предложен модернизированный алгоритм «ПИД + dP + точка перегиба». Его ключевая особенность заключается в использовании дополнительной логики, учитывающей момент начала закрытия заслонок. В системе используется сигнал не только о начале выгрузки, но и временной счётчик, позволяющий спрогнозировать момент, когда возмущение начнёт снижаться. В этой точке, названной точкой перегиба, в управление ПИД-регулятора записывается значение управления, зафиксированное в установившемся режиме, а подача поправки dP прекращается. Это обеспечивает опережающее изменение управляющего воздействия и существенно снижает амплитуду колебаний при завершении возмущения.

Результаты тестирования методов представлены на рисунке 2.

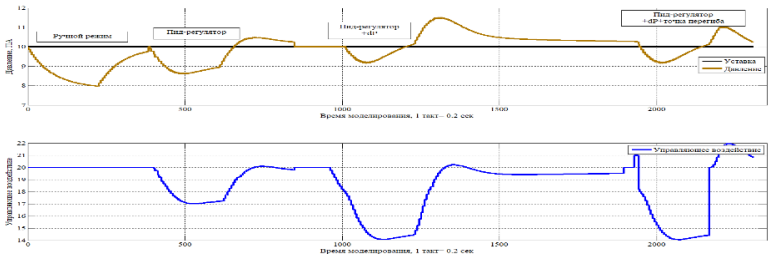


Рис. 2 – Результаты моделирования

По результатам математического моделирования метод «ПИД +dP + точка перегиба» продемонстрировал наилучшее соотношение быстродействия и качества регулирования, что определило его выбор для промышленной апробации.

Экспериментальные исследования разработанного метода проводились на действующей печи нагрева №2 сортопрокатного цеха СПЦ-1 ОЭМК им. А.А. Угарова. Испытания выполнялись в штатном режиме работы стана при сопоставимых технологических условиях: одинаковой тепловой мощности печи, температурных уставках и темпе прокатки.

Сравнение проводилось для четырёх режимов: ручного управления шибером, работы базового ПИД-регулятора, ПИД-регулятора с усиленными коэффициентами и предложенного метода с предиктивной компенсацией и точкой перегиба.

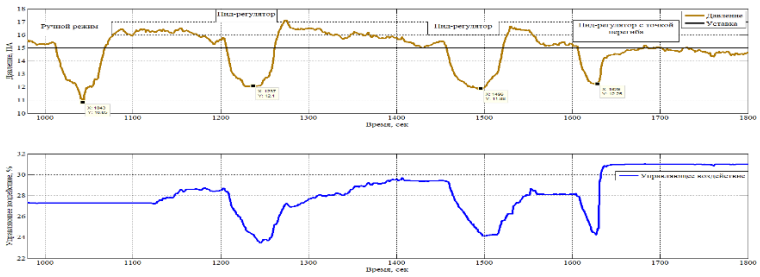


Рис. 3 – Результаты апробации методов на реальном объекте

Результаты натурного эксперимента подтвердили эффективность разработанного подхода. Время компенсации возмущения, определяемое как интервал от момента открытия

заслонки до возврата давления в допустимый диапазон отклонения от уставки, сократилось с 217 секунд при использовании стандартного ПИД-регулятора до 55 секунд при применении предложенного метода. Суммарная абсолютная ошибка регулирования за период возмущения уменьшилась более чем на 75 процентов. Амплитуда колебаний давления также снизилась, что положительно сказалось на стабильности температурного режима.

Особое внимание уделялось влиянию качества регулирования давления на температуру в зоне выгрузки, наиболее подверженной воздействию возмущений. При использовании базового алгоритма температура в зоне №6 колебалась в диапазоне до 15 ◦C, что провоцировало срабатывание контуров регулирования расхода газа и дестабилизацию работы всей печи. При внедрении предиктивного метода с точкой перегиба колебания температуры не превышали 2-3 ◦C, удерживаясь в пределах мёртвой зоны регулятора, что позволило существенно снизить количество переключений исполнительных механизмов и расход газа.

Разработанный метод регулирования давления в нагревательной печи, учитывающий влияние заслонок выгрузки металла, успешно прошёл промышленную апробацию. Его применение позволяет существенно сократить время компенсации возмущений, снизить амплитуду колебаний давления и повысить стабильность температурного режима в зонах печи.

Ключевыми преимуществами предложенного решения являются: опора на простую, но адекватную математическую модель, идентифицируемую по реальным данным; возможность интеграции в существующие системы автоматизации без замены аппаратной базы; подтверждённая эффективность в условиях промышленной эксплуатации.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности подхода для внедрения на других печах нагрева, а также для адаптации к иным технологическим процессам, где дискретные операции вызывают возмущения в непрерывных контурах регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирюков А.Б., Иванова А.А. Диагностика температурного состояния металла при его тепловой обработке в печах непрерывного действия // Металлург. 2018. № 4. С. 33-37.
2. Курбатов Ю. Л., Бирюков А. Б., Рубан Ю. Е. Металлургические печи //учебное пособие для вузов/ЮЛ Курбатов, ЮЕ Василенко.-До-нецк: ГВУЗ “ДонНТУ. – 2013.Киселев Е.В., Исследование газодинамики и конвективного теплообмена в пламенных нагревательных печах //
3. Костышев В. А., Питюгов М. С. Влияние температуры нагрева токами высокой частоты на структуру и свойства заготовок из сплава ВТ9 под высокоскоростную штамповку //Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика СП Королёва (национального исследовательского университета). – 2013. – №. 1 (39). – С. 143-147.Бирюков А.Б., Иванова А.А. Диагностика температурного состояния металла при его тепловой обработке в печах непрерывного действия // Металлург. 2018. № 4. С. 33-37.
4. Бирюков, А. Б. Методика прогнозирования теплотехнической эффективности использования рекуперативных горелок / А. Б. Бирюков, П. А. Гнитиев, Я. С. Власов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2018. – № 1. – С. 13-19.
5. Панферов, В. И. К решению задачи контроля температуры металла в АСУ ТП методических печей / В. И. Панферов, С. В. Панферов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. – 2021. – Т. 21. – № 4. – С. 63-75.
6. Начкебия Н.С., Бирюков А.Б Анализ расчетных методов и математических моделей теплообменных процессов в насадках регенеративных горелок / Вестник ДонНУ. Серия Г: Технические науки. – 2023. – № 1.
7. Фомин, А. В. Разработка функциональной схемы межконтурных взаимодействий в нагревательных печах на примере печей нагрева металла АО «ОЭМК им. А.А. Угарова» / А. В. Фомин // Автоматизация в промышленности. – 2024. – № 7. – С. 46-49. – DOI 10.25728/avtprom.2024.07.08. – EDN QTQENZ.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМ-ФИЛЬТРОМ

Архипов Д.А., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., старший преподаватель **Анпилов А.О.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Отделение фильтрации цеха обогащения (ЦО) №2 Лебединского ГОКа представлено четырьмя группами по девять дисковых вакуум-фильтров ДШ-100х2.5У, которые включены в общий контур с 19-ю вакуум-насосами и двумя воздуходувками. Дисковый вакуум-фильтр представляет собой технологический агрегат следующего вида (рис.1).

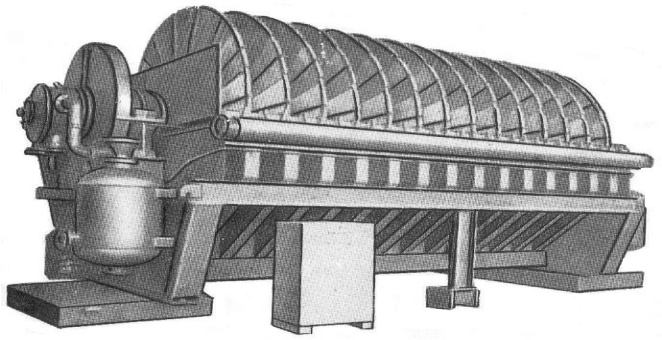


Рис. 1 – Дисковый вакуум-фильтр

В нижней части агрегата имеется ванна, выше которой установлен опорный вал. На него установлены секторы дисков, обтянутые фильтротканью. К торцам опорного вала прижаты распределительные головки. Они подключены к системам подачи разрежения в зону набора осадка и в зону сушки осадка, а также к системе отдувки.

Диски, установленные на опорном валу, движутся синхронно и проходят шесть основных технологических зон (рис. 2): зона набора осадка (1), зона сушки осадка (2), две промежуточные зоны (3 и 5), зона отдувки осадка (4) и зона регенерации фильтровальной ткани (6).

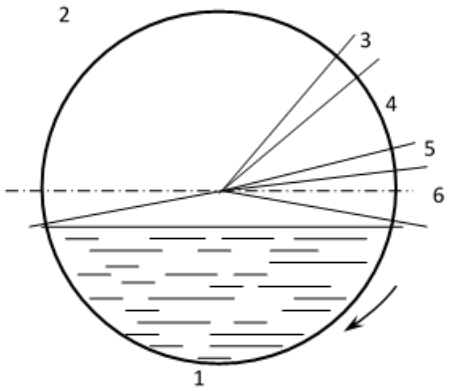


Рис. 2 – Циклы фильтрации

На сегодняшний день, в ЦО-2 все управление ведется в ручном дистанционном режиме без использования контуров управления. Подача пульпы в ванну фильтра осуществляется путем ручного регулирования расхода, а управление работой насосов осуществляется методом таблицы переключений.

В основе действующей системы управления находится программируемый логический контроллер SIEMENS S7-300. Для слежения за технологическими параметрами давления в

коллекторе сжатого воздуха и разрежения установлены необходимые датчики с высокой степенью износа. Кроме того, измерение данными устройствами избыточного и абсолютного давления не так эффективно, как применение специализированных датчиков, например P410 для избыточного давления или P500 для абсолютного.

SCADA система и формы визуализации WinCC для участка фильтрации ЦО-2 были обновлены и находятся в приемлемом состоянии, однако может потребоваться скорректировать систему управления верхнего уровня из-за смены контроллера после модернизации.

Таким образом, имеющаяся АСУ ТП построена в соответствии с трехуровневой архитектурой, но «лоскутный» характер автоматизации привел к тому, что все исполнительные механизмы и датчики полевого уровня подключены по разным стандартам, что вызывает сложности при объединении системы управления процессом фильтрации с общей информационной системой предприятия.

Имеющаяся система регулирования разрежения основана на включении и отключении вакуум-насосов в зависимости от количества одновременно работающих фильтров. Это является существенным недостатком действующей системы. Включение и отключение вакуум-насосов происходит путём передачи сообщения от оператора вакуум-фильтра оператору насосной подстанции, что занимает время и снижает общую эффективность работы. Остановка фильтров также требует синхронизированной работы персонала двух подстанций, территориально удаленных друг от друга.

Из-за работы всех электроприводов насосов и воздуходувок в номинальном режиме ы без регулирования наблюдается значительный перерасход электроэнергии, что приводит к повышенным издержкам.

На основе проведенного анализа существующей системы управления вакуум-фильтрами с целью повышения их качества работы и энергоэффективности предлагается разработать модернизированную систему управления для более точного регулирования разрежения в коллекторах низкого и высокого вакуума [1]. Для этого необходимо установить частотные преобразователи на приводы вакуум-насосов.

В состав разработанной системы управления вакуум-фильтрами входят: контур регулирования разрежения в зоне набора осадка и контур регулирования разрежения в зоне сушки осадка. В контуре регулирования разрежения в зоне сушки осадка поддержание требуемого технологического параметра производится путём изменения частоты вращения привода вакуум-насоса с помощью преобразователя частоты. В контуре регулирования разрежения в зоне набора осадка поддержание требуемого технологического параметра производится путём изменения положения задвижки с механизмом электрическим однооборотным (МЭО) с помощью трёх позиционного реле. Задвижка регулирует подачу разрежения из коллектора зоны сушки осадка в коллектор зоны набора.

Разрежение в зоне набора осадка влияет на производительность вакуум-фильтра и на влажность выходного продукта, величина разрежения в зоне сушки осадка влияет только на влажность концентрата [2, 3].

Внедрение разработанной системы управления позволит улучшить качество выходного продукта технологического процесса, повысить энергоэффективность, а также снизит нагрузку на персонал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТихоновО.Н. Автоматизация производственных процессов на обогатительных фабриках. - М.: «Недра», 1985. – 272 с.

2. Гольберт, Ю.С. Процессы концентратов черных металлов / Ю. С. Гольберт, –М.: Недра, 1986. – 182 с.

3. Гольберт, Ю.С. Процессы и оборудования для обезвоживания руд / Ю. С. Гольберт, –М.: Недра, 1977. – 168 с.

ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАСОСОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ

Ахмедов А.А., студент
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Гамбург К.С.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Частотное регулирование насосов играет важную роль в эффективном функционировании систем водоснабжения, вентиляции, отопления, промышленных производств и других областях, где требуется насосное оборудование. Этот метод регулирования позволяет изменять скорость вращения насоса, что в свою очередь позволяет точно контролировать расход жидкости или давление в системе в зависимости от текущих потребностей процесса.

Преимущества частотного регулирования насоса включают экономию энергии, поскольку насос работает только на необходимом уровне, уменьшая потребление электроэнергии. Это также способствует продлению срока службы оборудования, поскольку постоянные старты и остановки, характерные для других методов регулирования, могут привести к износу.

Частотное регулирование насосов обеспечивает более равномерное распределение нагрузки на систему, что способствует ее более стабильной работе. Оно также помогает достичь более высокой точности регулирования процесса, что особенно важно в системах, где требуется постоянный контроль параметров.

В целом, частотное регулирование насосов является эффективным и передовым методом для оптимизации процессов, повышения энергоэффективности и улучшения работоспособности систем, где применяется насосное оборудование.

В статье рассматривается применение частотного преобразователя STV600C31N4(L1/L3) производства российской компании Systeme Electric [4]. Данное оборудование представляет собой современное решение для управления электроприводами в промышленных условиях и системах автоматизации. Выбор этой модели обусловлен ее высокой надежностью, широкими функциональными возможностями и оптимальным соотношением цены и качества, что особенно актуально в условиях импортозамещения.

Основной особенностью данного частотного преобразователя является способность обеспечивать плавное регулирование скорости вращения электродвигателей, что позволяет существенно повысить энергоэффективность технологического оборудования. Устройство обладает развитой системой защиты, гарантирующей стабильную работу в различных производственных условиях, включая возможные перепады напряжения и перегрузки. Важным преимуществом является простота интеграции преобразователя в существующие системы автоматизированного управления благодаря поддержке стандартных промышленных интерфейсов и протоколов связи.

Параметры ПЧ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры преобразователя частоты

Преобразователь	STV600C31N4(L1/L3)
Мощность, кВт	315
Номинальный ток, А	600
Частота, Гц	50
Напряжение сети, кВ	0,4
Коэффициент мощности	0,97
КПД (при ном. мощности), %	97
Перегрузочная способность, %	110% в течение 1 мин;
Степень защиты	IP20

Продолжение таблицы 1

Температура окружающей среды, °С	-10 до +50
Способ охлаждения	Воздушное, принудительное
Система управления	Скалярная по закону управления U/f^2
Типы защит	1) Защита от перегрузки по току; 2) Защита от перенапряжения 3) Защита от пониженного напряжения 4) Защита от повышенной температуры 5) Защита от потери фазы; 6) Защита от короткого замыкания 7) Защита от обрыва фазы

Так как требованием к насосу является возможность плавного регулирования давления в системе подачи воды, в рамках данной статьи рассматривается возможность использования скалярного управления и закона частотного регулирования (1):

$$\boxed{U / f_1^2 = const}, \quad (1)$$

так как данный закон регулирования характерен для нагрузок насосных и вентиляторных установок.

Преимущества скалярного управления насосами включают в себя более эффективное управление скоростью работы насоса, что помогает снизить энергопотребление и улучшить экономию электроэнергии, так как работа насосов адаптируется к реальным потребностям процесса. Другим важным преимуществом является более точное регулирование расхода жидкости и давления, что способствует оптимальной работе системы и повышению ее надежности. Также скалярное управление насосами обеспечивает более плавный запуск и остановку насоса, что снижает износ оборудования и продлевает его срок службы. В целом, использование скалярного управления позволяет экономить энергию, повысить эффективность работы насосов и обеспечить стабильную работу технологических процессов.

Скалярная система управления изображена на рисунке 1. В данной схеме изображены следующие блоки:

- задатчик закона регулирования;
- модулятор пространственных векторов;
- трехфазный диодный выпрямитель;
- сглаживающий конденсатор;
- трехфазный инвертор;
- асинхронный электродвигатель.

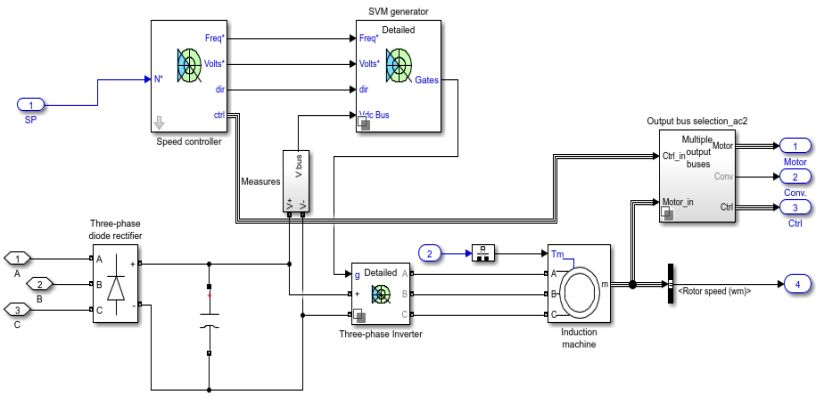


Рис. 1 – Скалярная система управления

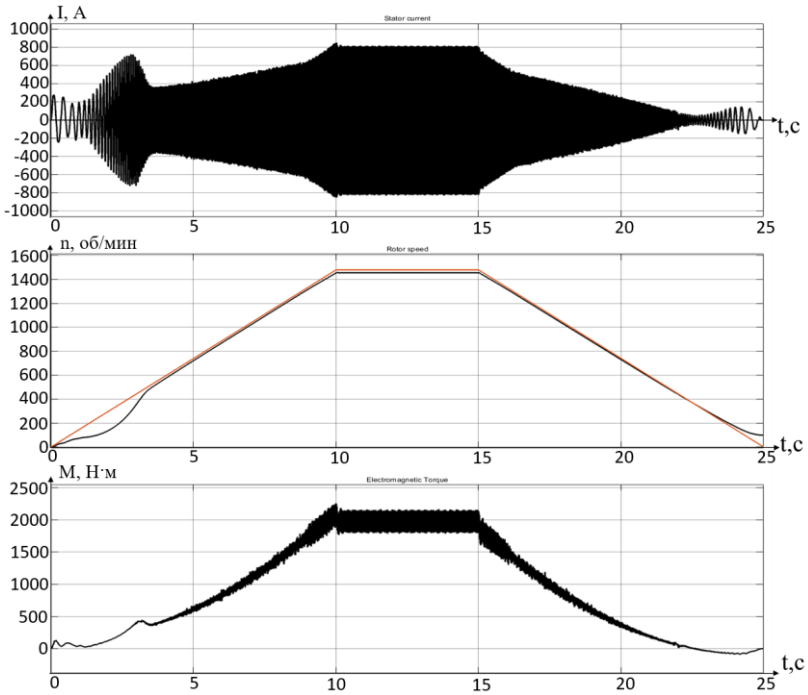


Рис. 2 – Графики: тока статора, скорости вращения ротора и электромагнитного момента

В процессе моделирования разработанной выше скалярной системы управления в прикладном пакете MATLAB были получены графические зависимости параметров системы от времени. Данные зависимости представлены на рисунке 2.

Данный график показывает работу системы в 3 режимах:

1 – разгон до скорости 1480 об/мин;

2 – работа при номинальной скорости;

3 – торможение и остановка.

На данных графиках мы видим зависимости основных параметров системы, таких как ток, скорость и момент от времени. В начале есть небольшие колебания тока и момента, которые в дальнейшем исчезают, во время пуска нет таких больших колебаний этих параметров, как это было в случае с прямым пуском.

Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод, что система ПЧ-АДК со скалярным управлением рассчитана верно и работает правильно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по эксплуатации ПП-1010Б [Электронный ресурс]/ - Режим доступа – URL: https://mcgrp.ru/files/viewer/598835/2?ysclid=mk3n9zdry2355368923// (дата обращения: 07.01.2026).

2. Зорич, Н.Л. - Научные основы насосных установок и гидравлические машины./ Н.Л. Зорич, А.П. Гусев - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. 416 с. - Текст: непосредственный.

3. Преобразователь частоты STV600C31N4(L1/L3) [Электронный ресурс] - Электронные текстовые данные, - Режим доступа – URL: https://www.etm.ru/cat/nn/9544947?ysclid=mk3ox1dvzi 901127394 (дата обращения: 07.01.2026).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОЦИАЛЬНО-ВОСПИТАТЕЛЬНОГО ОТДЕЛА В ОРГАНИЗАЦИЯХ СПО НА ОСНОВЕ ДАТАЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Богданова Ю.С., студент 4 курса
Научный руководитель – старший преподаватель **Ковтун Н.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Эффективность деятельности социально-воспитательных отделов (ОСВР) в учреждениях среднего профессионального образования (СПО) во многом определяется качеством информационного обеспечения. Сотрудники отделов ежедневно сталкиваются с необходимостью обработки больших объёмов данных о студентах, планирования мероприятий, формирования документов и подготовки отчётности. Однако существующая практика работы, основанная на использовании разрозненных электронных таблиц и бумажных носителей, приводит к дублированию информации, увеличению временных затрат и росту вероятности ошибок.

Актуальность данного исследования обусловлена потребностью в систематизации информационных потоков и создании единого структурированного хранилища данных.

В ходе анализа предметной области были выявлены и структурированы основные данные, подлежащие хранению в проектируемой базе. Схема данных, представленная на рисунке 1, отражает реализацию модели данных в СУБД MySQL [1].

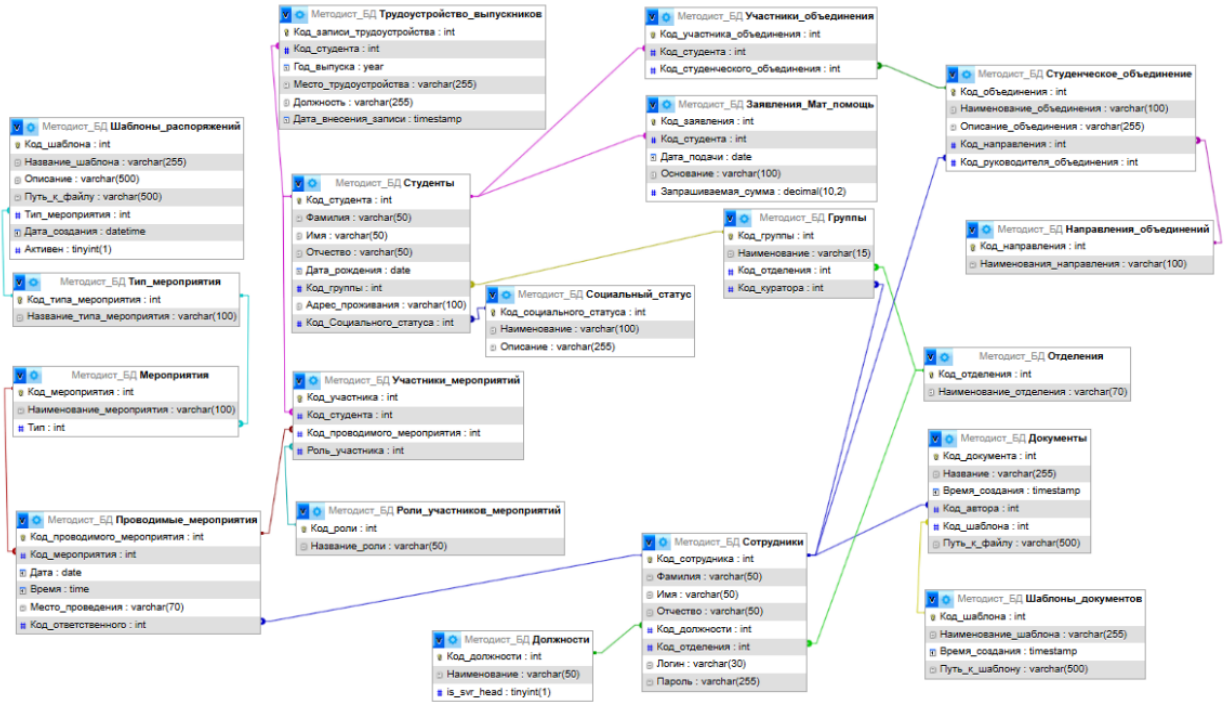


Рис. 1 – Схема данных

В системе необходимо предусмотреть различный функционал для разных пользователей: сотрудников и студентов. Сотрудники работают с документами, отвечают за мероприятия и курируют работу объединений, а студенты участвуют в мероприятиях, ходят в кружки и при необходимости подают заявки на материальную помощь. Для разграничения прав доступа и автоматизации отчетности в системе разделены должности (для штата

сотрудников), а также ведется учет учебных групп и социальных статусов студентов, необходимых для выплат.

Логика работы с мероприятиями включает разделение на «шаблоны» и «фактические реализации». У каждого события есть дата, место, ответственный сотрудник и список участников с их ролями. Студенты могут участвовать в нескольких мероприятиях, а одно мероприятие может включать много студентов. Аналогичный принцип используется для студенческих объединений: студент может состоять в нескольких кружках, а за каждым объединением закреплён куратор из числа сотрудников.

Документы создают сотрудники на основе готовых шаблонов. Заявки на матпомощь проходят полный цикл от студента до социального педагога с фиксацией статуса заявки. Таблица «Трудоустройство выпускников» хранит данные о месте работы и должности, чтобы формировать отчёты по занятости.

Для взаимодействия с базой данных было реализовано веб-приложение. HTML и CSS отвечают за структуру и внешний вид страниц. JavaScript обеспечивает интерактивность элементов. PHP обрабатывает серверную логику и запросы к базе данных. Для управления зависимостями в PHP использовался пакетный менеджер Composer. С его помощью была подключена библиотека PHPWord для генерации файлов в формате .docx. В качестве среды разработки и локального сервера применялся пакет OSPanel [2].

На рисунке 2 представлено модальное окно, в котором пользователь может работать со списком студентов, зарегистрированных на мероприятие. Через данный интерфейс доступны следующие действия: регистрация новых студентов, назначение роли, удаление выбранного участника из списка.

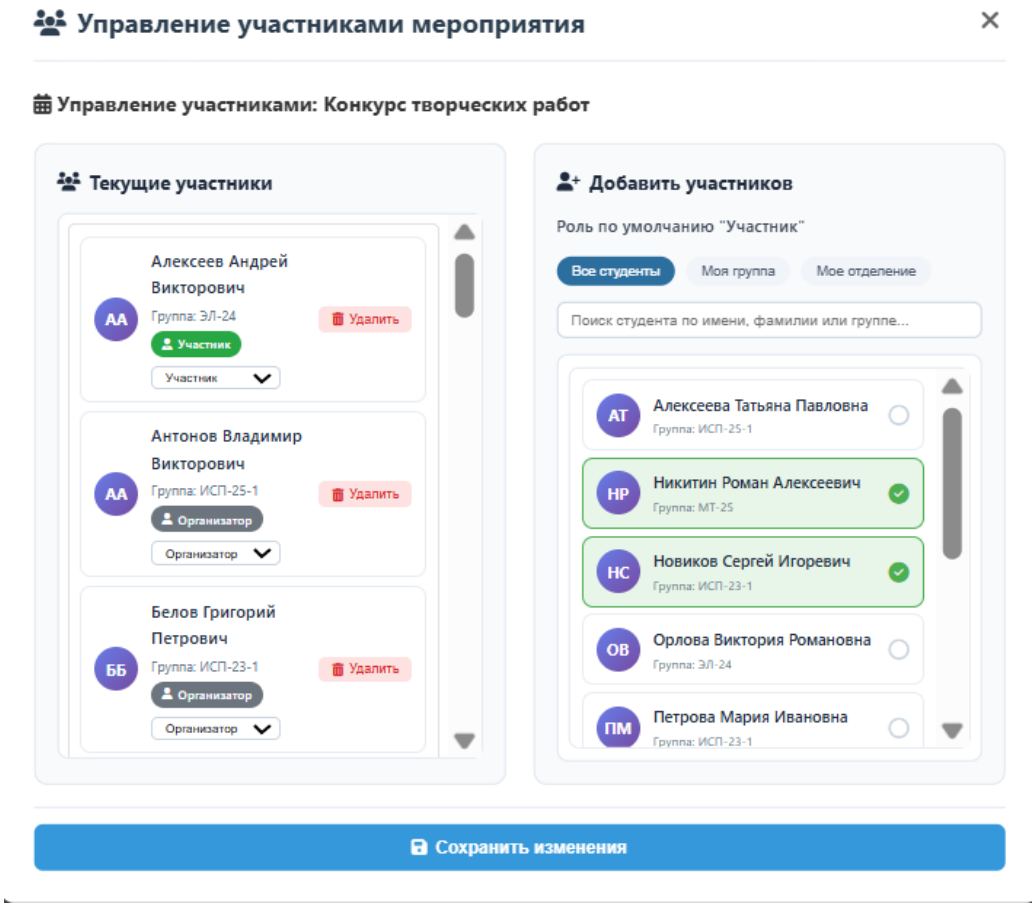


Рис. 2 – Модальное окно управления участниками мероприятий

Эффективное функционирование системы напрямую зависит от качества спроектированной даталогической модели. Именно логические связи между таблицами

«Студенты», «Мероприятия», «Роли», «Шаблоны» позволяют системе извлекать нужные сведения и объединять их в итоговых документах. Практическая реализация этих связей наглядно представлена в интерфейсах формирования распорядительной документации.

На рисунке 3 представлено модальное окно для выбора шаблона распоряжения. Все доступные шаблоны загружаются из отдельной таблицы базы данных, где хранятся заготовки документов различных типов. Пользователь выбирает подходящий вариант, после чего система автоматически подставляет в шаблон все необходимые данные о мероприятии и его участниках.

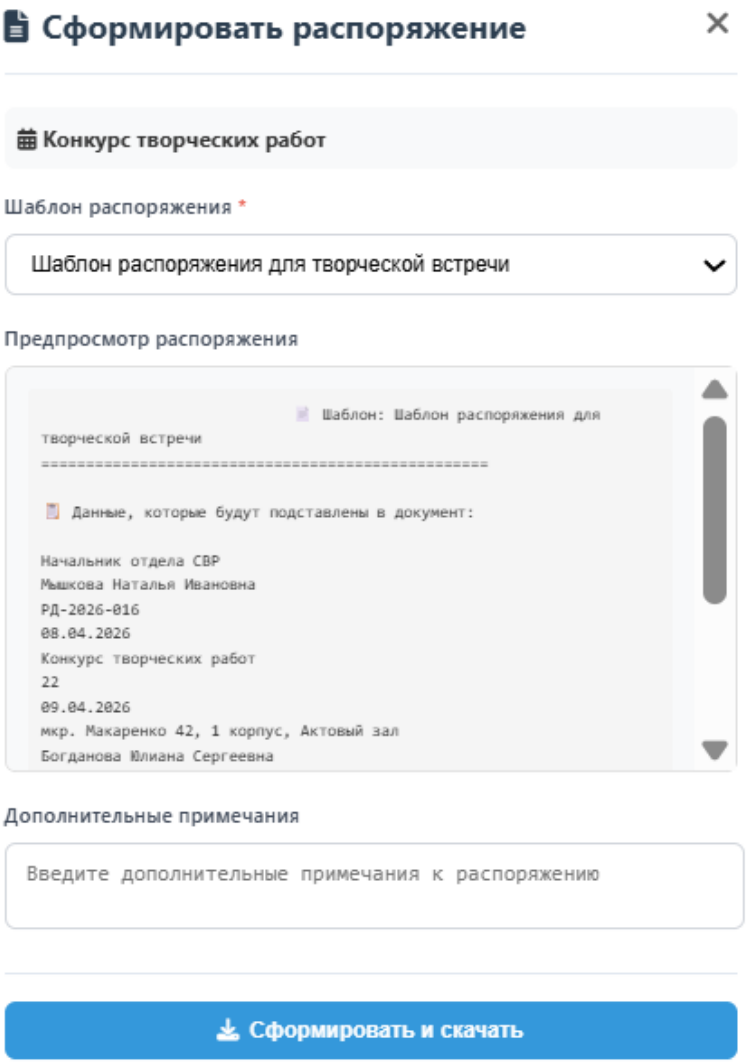


Рис. 3 – Модальное окно формирования распоряжения

На рисунке 4 показан сформированный документ в формате .docx. Система берёт выбранный пользователем шаблон, затем отправляет запрос к базе данных для получения актуальных полей: фамилий и имен студентов, номера групп, назначенных ролей и названия мероприятия, которые подставляются в соответствующие места шаблона. На выходе пользователь получает готовое распоряжение, которое можно сразу сохранить.

УТВЕРЖДАЮ
Начальник отдела СВР
Иванова Ольга Викторовна
_____

РАСПОРЯЖЕНИЕ № РД-2026-016 от 08.04.2026

О направлении студентов на мероприятие «Конкурс творческих работ»

В соответствии с планом воспитательной работы, ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Направить студентов в количестве 22 человек на мероприятие «Конкурс творческих работ», которое состоится 09.04.2026 в 10:00 по адресу: мкр. Макаренко 42, 1 корпус, Актовый зал.

2. Ответственный за организацию и проведение мероприятия – Богданова Юлиана Сергеевна (Методист отделения).

3. Список студентов:

№ п/п	ФИО студента	Группа
1.	Алексеев Андрей Викторович	ЭЛ-24
2.	Антонов Владимир Викторович	ИСП-25-1
3.	Белов Григорий Петрович	ИСП-23-1
4.	Васильев Павел Игоревич	МТ-25
5.	Волков Андрей Денисович	ИСП-25-1
6.	Григорьева Анастасия Федоровна	МТ-25

4. Контроль за исполнением настоящего распоряжения оставляю за собой.

Начальник отдела СВР _____

Рис. 4 – Сформированное распоряжение

Предложенное решение позволяет снизить нагрузку на сотрудников за счет сокращения рутинных операций по поиску и консолидации разрозненной информации, а даталогическая модель создает основу для дальнейшей разработки пользовательского интерфейса и интеграции в общую цифровую среду образовательного учреждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малыхина, М. П. Базы данных: основы, проектирование, использование / М. П. Малыхина. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2022. – 512 с. – ISBN 978-5-9775-4000-1. – Текст : непосредственный.

2. Полуэктова, Н. Р. Разработка веб-приложений : учебник для вузов / Н. Р. Полуэктова. – 2-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2026. – 204 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-18645-1. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт : [сайт]. – URL: https://urait.ru/bcode/588458 (дата обращения: 08.04.2026).

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОДГОТОВКИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ГАЗА ЦГБЖ-1 АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК»

Бублиёв Н.Д., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н, старший преподаватель **Анпилов А.О.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ МИСИС)

Технологический процесс в основе работы ЦГБЖ-1 – это MIDREX, который является стандартным для большинства производств горячебрикетированного железа (ГБЖ) [1]. Сырьем для производства ГБЖ выступает сухой железорудный концентрат, который поступает с обогатительной фабрики Лебединского ГОКа. Данный продукт уже имеет высокое содержание железа (порядка 70%). Параллельно процессу подготовки сырья происходит подготовка восстановительной атмосферы. В отдельном технологическом узле реформере происходит преобразование природного газа сначала в конвертированный, а затем в восстановительный газ. В основе природного газа метан (CH_4), который сначала обрабатывается водяным паром (паровой риформинг), после чего подается на реакторы-реформеры, работающие при температуре 850 – 900 °С. Происходит термическое разложение метана в присутствии воды.

Смешивание конвертированного газа с природным в смесителе после каталитического реформера – это критически важный технологический аспект получения восстановительного газа.

В технологии MIDREX процедура подмешивания в конвертированный газ метана (природного газа) называется «спайкинг». Смешивая два потока газа, стремятся поднять концентрацию CH_4 до 4.0% от объема.

Газ для восстановления подается на реактор прямого восстановления, где подготовленная железорудная пыль и восстановительный газ смешиваются. В качестве реактора в ЦГБЖ-1 используется шахтная печь. Газ подается снизу вверх, образуя «кипящий слой», что обеспечивает идеальный и интенсивный контакт между твердыми частицами руды и газообразным восстановителем. Процесс прямого восстановления происходит при температурах 800 – 850 °С.

Согласно действующей технологической инструкции, используются замкнутый процесс газоподготовки с «дозаправкой». В верхней части реактора прямого восстановления в следствии протекания основных химических реакций получается колошниковый газ. Этот газ подается в скруббер, где происходит его первичная очистка от захваченной металлизированной пыли из «кипящего слоя». Мелкая взвесь, отфильтрованная скруббером, возвращается в цикл. Очищенный колошниковый газ, разделяется на две потока и удаляется из скруббера. Меньшая его часть смешивается с природным газом и формирует топливный газ для каталитического реформера. Большая часть потока отделяется и уносится на десульфурацию – этот газ называется технологический. Перекачка газа из скруббера первичной очистки в десульфуратор происходит компрессором технологического газа.

После десульфурации в технологический газ подмешивается природный газ (метан), после чего смесь называется смешанный газ. Эта смесь подается в реформер, где происходят описанные ранее химические реакции и получается конвертированный газ.

Конвертированный газ, после реформера поступает на охладитель и спайк-установку, где к нему подмешивают подогретый природный газ, образуя восстановительный газ, подаваемый в шахтную печь. Все газовые потоки, направляемые в реформер, проходят через рекуператор, где подогреваются в обязательном порядке. Данный процесс закольцован. На каждом его этапе измеряются его технологические характеристики и химический состав газа.

Действующая АСУ ТП участка газоподготовки построена по иерархическому принципу:

- Полевой уровень;

- Уровень управления;
- Операторский уровень.

На полевом уровне находятся датчики температуры, давления, расхода, уровня, газоанализаторы, а также датчики позиции и состояния клапанов, задвижек, конвейеров.

Исполнительные механизмы полевого уровня представлены следующими устройствами: регулирующие клапаны, частотные преобразователи, пускатели, системы управления горелками реформера и нагревателя. На среднем уровне находятся основной контроллер и контроллер противоаварийной защиты.

По результатам анализа действующего уровня автоматизации были выявлены следующие недостатки:

- Отсутствие частотного регулирование компрессора технического газа;
- Ручное регулирование концентрации метана;
- Устаревшие устройства управления (ПЛК) и ряд датчиков [2].

Детализируя данные недостатки, стоит упомянуть, что регулирование давления технического газа осуществляется компрессором, работающим в номинальном режиме без частотного преобразователя. Это может привести к следующим негативным последствиям:

- Повышенное энергопотребление при неполной загрузке;
- Ступенчатое или недостаточно точное регулирование давления;
- Невозможность плавной подстройки производительности под текущие технологические нужды.

Концентрация CH_4 в реформированном и восстановительном газе регулируется оператором дистанционно, без контура автоматического регулирования, что в свою очередь может привести к:

- Нестабильности состава газа;
- Возможным отклонениям степени металлизации и содержания углерода в готовом продукте;
- Задержкам в реакции на изменение параметров.

Ручное управление основными параметрами требует постоянного внимания оператора, что повышает риск человеческой ошибки, замедляет реагирование на отклонения от нормативных режимов, а также на общее снижение технологического процесса.

Для модернизации АСУ ТП участка производства реформированного газа ЦГБЖ-1 АО «Лебединский ГОК» предлагается:

- Разработать контур регулирования давления технологического газа и контур регулирования концентрации метана в конвертированном и восстановленном газе;
- Произвести разработку алгоритма функционирования системы управления;
- Произвести обновление устаревших элементов комплекса технических средств среднего и нижнего уровня АСУ ТП [3];

Модернизация системы управления позволит повысить качество рассматриваемого технологического процесса, повысит его энергоэффективность, а также снизит нагрузку на оператора и сделает АСУ ТП более безопасной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горячебрикетированное железо (ГБЖ): производство, плюсы, особенности [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://blog.hardhub.ru/articles/spravka/goryachebriketirovannoe-zhelezo-gbzh-proizvodstvo-plyusy-osobennosti/ (дата обращения: 10.03.2026).

2. Петров И.В. Промышленные программируемые контроллеры в системах автоматизации. — М.: Инфра-М, 2016.

3. Шишмарёв В.Ю. Автоматизация технологических процессов. — М.: Академия, 2012.74_1.pdf?ysclid=mnqh7q3izb363517038 (дата обращения: 09.03.2026).

РАЗРАБОТКА АИС УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДОМ НА ПРЕДПРИЯТИИ ЗАО «ПКФ «НК»». МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДОМ

Бувайлик И.Н., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Козырь О.Ф.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Для успешной работы и завоевания уверенных позиций на рынке необходимы не только качественные товары, но и постоянное управление процессами, чёткий учёт товара, учёт поставок и продаж. Внедрение информационной системы позволяет построить весь процесс качественно. Совокупность работ, выполняемых на различных складах, примерно одинакова. Это объясняется тем, что в разных логистических процессах склады выполняют схожие функции: временное размещение и хранение материальных запасов; преобразование материальных потоков; предоставление информации о движении товаров.

Автоматизация складского учёта влияет на качество и скорость выполнения основных процессов на складе, приводит к совершенствованию систем управления и регулирования материальных и информационных потоков на складе. Это достигается путём внедрения современного программного обеспечения и компьютерного оборудования на предприятии.

Каждое основное подразделение выполняет определенные функции в организации, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Выделение основных подразделений

Подразделение	Цель подразделения	Бизнес-функции
Управление (Директор)	Руководство и организация работы всех отделов, принятие стратегически важных решений	Создание стратегического плана для предприятия, установление целей и планов, контроль за выполнением задач для достижения этих целей
Отдел работы с клиентами	Приём заказов и обслуживание клиентов	Работа с клиентами, приём заказов, обработка запросов, консультации по продукции и услугам
Производство	Производство готовых изделий из комплектующих	Планирование производственных операций, получение комплектующих изделий со склада, контроль качества готовых изделий, обеспечение соответствия стандартам 5S производственного процесса
Склад	Хранение готовой продукции и комплектующих изделий	Приём и размещение готовой продукции на складе, получение комплектующих от поставщиков, контроль запасов, подготовка и отправка товаров клиентам, обработка возвратов и брака
Бухгалтерия	Ведение финансовой отчётности и контроль за финансовой деятельностью предприятия	Учёт финансовых операций, расчёт заработной платы, составление отчётности, налогообложение

Схема организационной структуры представлена на рисунке 1.

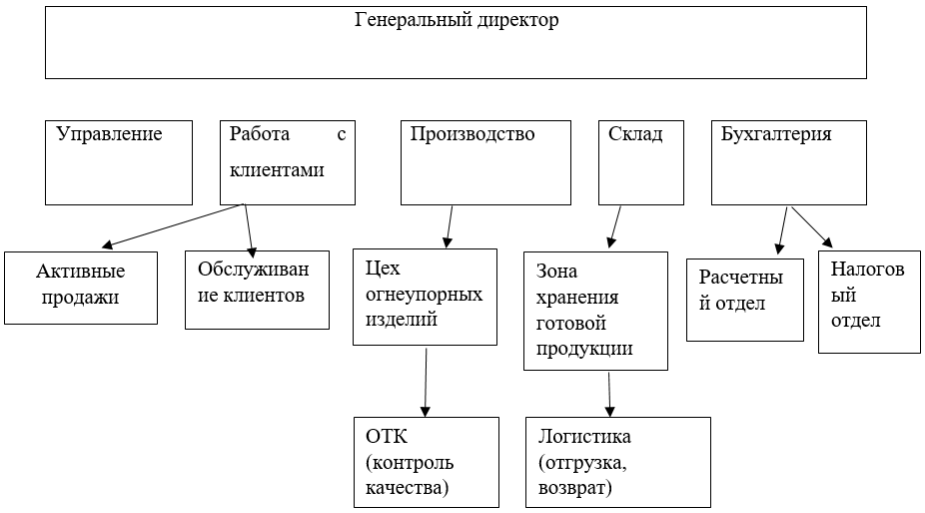


Рис. 1 – Организационная структура ЗАО «ПКФ «НК»»

ЗАО «ПКФ «НК»» имеет линейно-функциональную организационную структуру. Во главе компании стоит генеральный директор. Он осуществляет общее руководство, принимает стратегические решения и контролирует деятельность всех подразделений. Отдел работы с клиентами передаёт поступившие заказы в производство и согласовывает со складом сроки отгрузки готовой продукции. Производство, в свою очередь, получает необходимые комплектующие со склада, а после завершения производственного цикла передаёт готовую продукцию обратно — для хранения и последующей отгрузки клиентам. Бухгалтерия поддерживает связь со всеми подразделениями: начисляет заработную плату сотрудникам, учитывает производственные затраты, обрабатывает платежи от клиентов и поставщиков. Управление координирует деятельность всех отделов — ставит стратегические задачи в соответствии с целями компании и контролирует их выполнение, обеспечивая слаженную работу всей организации.

Рассмотрим бизнес-процесс «управление складом материалов», а точнее, учёт движения материалов на складе. На настоящий момент он осуществляется путём ведения бумажных журналов, где хранятся данные о поступлении, списании и передаче материалов в производство. Менеджеры склада вручную заполняют всю необходимую документацию. Поиск ошибок в документации или несостыковок в учёте также производится вручную.

Входными данными являются:

- первичные документы на поступление материалов от поставщиков;
- документы на списание материалов;
- документы на передачу материалов в производство;
- справочная информация о материалах, поставщиках и единицах измерения.

Выходными данными является:

- отчетность о поступлении материалов за определенный период;
- отчетность о передаче материалов в производство за определенный период, информация о текущем наличии материалов на складе.

Стрелки управления:

- внутренняя политика организации по управлению запасами;
- нормативные документы, регламентирующие учет материалов на складе.

Стрелки механизма:

- менеджер склада – сотрудник, ответственный за ведение учета и формирование отчетности;

- бумажные журналы учета – основное средство хранения информации;
- калькуляторы и ручные средства вычисления – инструменты для расчетов сумм и количеств;
- бумажные документы и архивы – носители первичной информации.

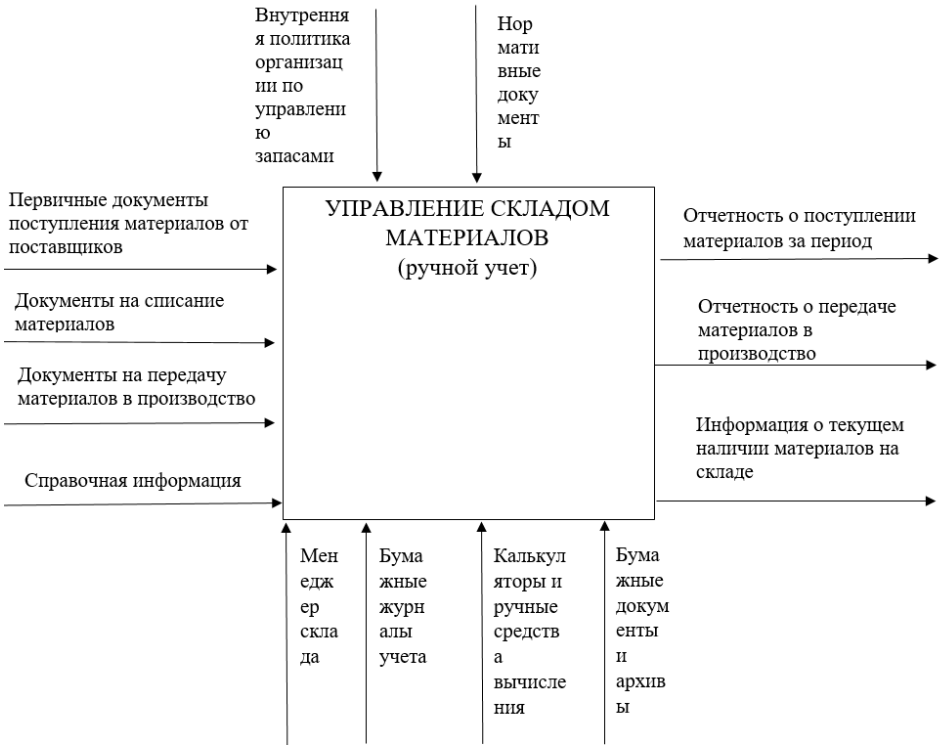


Рис. 2 – Контекстная диаграмма процесса управления складом материалов

Основные этапы существующего бизнес-процесса:

- Прием материалов на склад: ручная регистрация поступивших материалов в журнале поступления с указанием даты, поставщика, количества и суммы.

- Учет хранения материалов: ведение журнала материалов с указанием названия, вида, цены и места хранения.

- Списание материалов: оформление документов на списание с указанием даты, номера документа, количества и суммы.

- Передача материалов в производство: учет передачи материалов с указанием даты, номера документа, количества и суммы.

- Формирование отчетности: ручное составление отчетов о поступлении и передаче материалов за определенные периоды.

Существующая система характеризуется следующими недостатками:

- Высокая трудоемкость ручных операций;
- Большая вероятность ошибок при ручном вводе данных;
- Задержки в получении актуальной информации о наличии материалов;
- Отсутствие автоматического контроля за уровнем запасов;
- Сложность анализа данных из-за разрозненного хранения информации;
- Отсутствие защиты данных и разграничения прав доступа;
- Невозможность быстрого экспорта данных в электронные форматы.

Для разработки АИС управления складом, устраняющей вышеперечисленные недостатки нынешней формы бизнес-процесса, построим модель процессов, выполняемых автоматизированной системой.

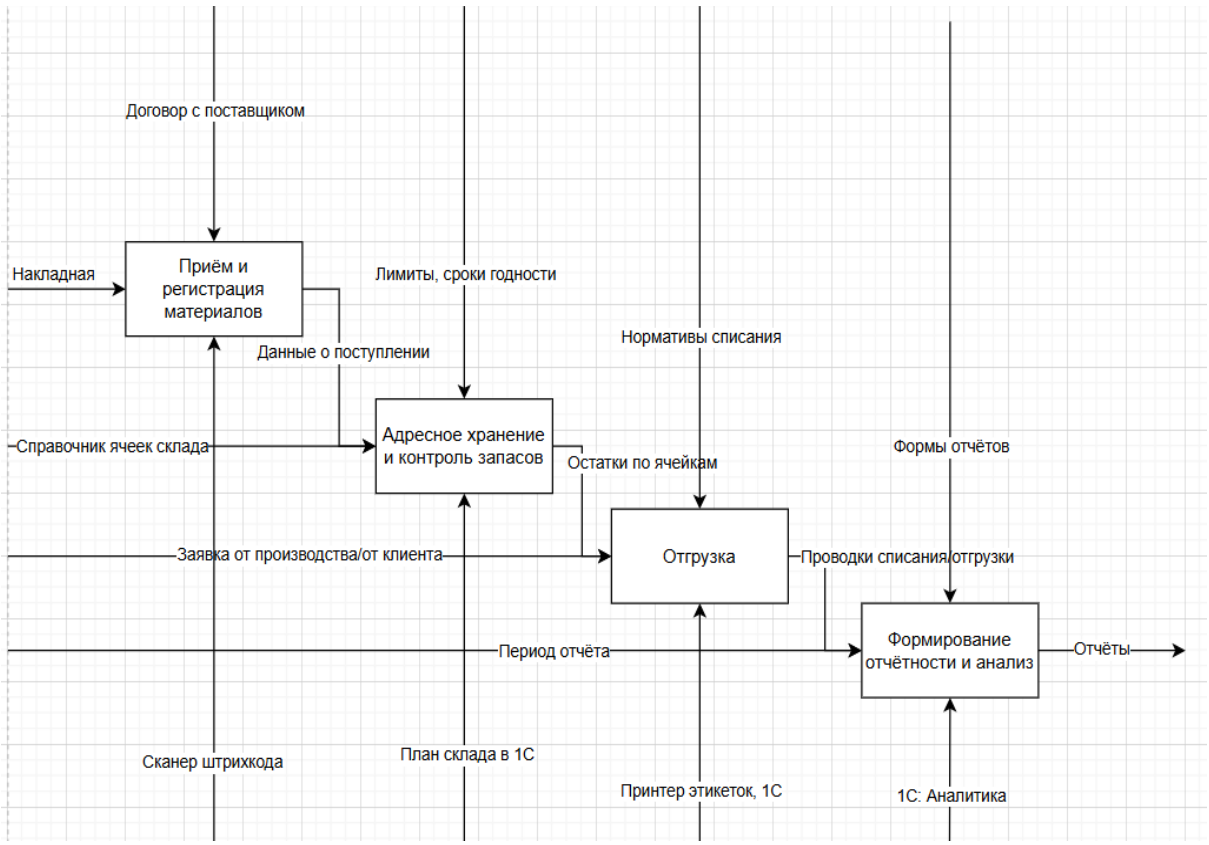


Рис. 3 – Диаграмма процессов автоматизированной системы управления складом

Кладовщик сканирует штрихкод терминалом сбора данных (ТСД), система подтягивает электронную накладную от поставщика, сверяет количество и номенклатуру, фиксирует поступление в базе данных. После приёмки система предлагает свободную ячейку (стеллаж, полка). Кладовщик сканирует ячейку и материал, затем система связывает их. Автоматически отслеживаются остатки, при достижении минимума - уведомление менеджеру. Производственный отдел формирует заявку в 1С, затем система резервирует материалы, после чего кладовщик сканирует их при отгрузке, и 1С автоматически списывает остатки и формирует проводки. На основе данных из единой базы (поступления, перемещения, списания) система формирует отчёты: остатки, движение за период, обороты. Можно настроить дашборды (Power BI) и автоматическую рассылку.

Таким образом, представленное моделирование послужит основой для практической реализации автоматизированной системы управления складом. Реализация проекта соответствует стратегическим целям предприятия. Для ЗАО «ПКФ «НК», демонстрирующего устойчивый рост выручки и численности персонала, переход на автоматизированное управление складом станет логичным шагом в развитии. Это позволит не только оптимизировать текущие операционные процессы, но и создать технологическую основу для дальнейшего масштабирования бизнеса, повышения управляемости и снижения операционных рисков, связанных с ручным трудом и бесконтрольностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ЗАО ПКФ НК [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://thm-holding.ru/about-us/nk/

2. Складской учет материально-производственных запасов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://logistics.ru/manufacturing/9/17/i20_28498p0.htm

3. Технология внедрения складской системы автоматизации: основные этапы [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://sitmag.ru/article/10208-tehnologiya-vnedreniya-skladskoy-sistemy-avtomatizatsii-osnovnye-etapy

О МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА ЗАХВАТА ДЕТАЛЕЙ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ

Булгаков К.А., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Полещенко Д.А.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Позиционирование манипулятора над объектом является одной из задач, решаемых при организации автоматизированного захвата [1]. Точное согласование пространственного положения и ориентации рабочего органа с геометрическими параметрами целевого предмета напрямую определяет успешность всей операции. В рассматриваемой робототехнической системе (рисунок 1) манипулятор оснащён двупалым схватом.

Рис. 1 – Рассматриваемый робот-манипулятор

Это формирует строгие условия для захвата: для обеспечения устойчивого удержания и исключения деформации или соскальзывания объекта необходимо точно совмещать плоскость захвата с гранями фигур. Подобная кинематическая конфигурация, обладая рядом эксплуатационных преимуществ, таких как конструктивная простота, высокая повторяемость и относительная лёгкость программного управления, одновременно накладывает существенные ограничения на допустимые углы подхода и требует обязательного предварительного анализа пространственной ориентации объекта.

Анализ рабочей среды показал, что все обрабатываемые фигуры размещаются на однородном белом фоне (рисунок 2) и обладают исключительно прямолинейными гранями, что позволило выбрать стратегию машинного зрения. В основу метода положена сегментация всех цветовых областей, контрастирующих с фоном, последующее выделение замкнутых контуров, идентификация целевой фигуры и расчёт угла поворота схвата относительно её характерной оси.

Рис. 2 – Фигура на белом фоне

На начальном этапе алгоритм изолирует цветные элементы от белого фона. Для этого изображение преобразуется в цветовое пространство HSV, где выделяется канал насыщенности. Пиксели, превышающие порог, помечаются как белые, остальные как чёрные. Полученная маска дополнительно обрабатывается морфологическими операциями.

Рис. 3 – Выделенная фигура

На очищенной маске алгоритм находит все внешние контуры и выбирает тот, который обладает максимальной площадью, предполагая, что он соответствует целевому объекту. Это позволяет выделить ключевые вершины фигуры, отбрасывая незначительные изгибы. В результате формируется упорядоченное множество вершин $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, где $v_i = (x_i, y_i)$– локальные координаты в системе отсчёта, начало которой совпадает с верхним левым углом вырезанной области.

Каждая пара соседних вершин v_i, v_{i+1} определяет сторону s_i. В качестве стороны захвата выбирается та часть фигуры, которая ориентирована непосредственно к роботу-манипулятору. В установленной конфигурации рабочей зоны, где камера расположена строго над объектами, направление подвода схвата совпадает с вертикальной осью изображения, следовательно, целевая грань геометрически располагается ближе всего к верхней границе ограничивающей рамки. Для её автоматической идентификации разработан алгоритм, оценивающий каждую сторону s_i аппроксимированного полигона по двум ключевым критериям:

- Евклидова длина отрезка L_i. Данный параметр выступает в роли фильтра, отсеивающего побочные, шумовые или артефактные отрезки, возникающие вследствие погрешностей сегментации или аппроксимации. Предпочтение отдаётся протяжённым граням.

$$L_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}, \quad (1)$$

- Расстояние D_i. Параметр формализуемая как расстояние от середины выделенной грани фигуры до верхней границы ограничивающей рамки. Поскольку захват осуществляется сверху вниз, минимизация этого расстояния гарантирует, что плоскость губок схвата будет совмещена с лицевой гранью объекта. В локальной системе координат вырезанной области начало отсчёта $O(0,0)$ расположено в верхнем левом углу. Следовательно, верхняя граница ограничивающей рамки лежит на горизонтальной прямой, для которой ордината равна нулю:

$$y_{top} = 0, \quad (2)$$

Координата y для середины стороны, вычисляется как среднее арифметическое ординат её концов:

$$y_{mid} = \frac{y_i + y_{i+1}}{2}, \quad (3)$$

Расстояние между двумя точками на вертикальной оси определяется как модуль разности их координат. Применение операции модуля является обязательным условием корректной метрики, так как гарантирует не отрицательность результата независимо от взаимного расположения точек.

Объединяя приведённые выражения, получаем итоговую формулу для расчёта критерия близости:

$$D_i = \left| \frac{y_i + y_{i+1}}{2} - 0 \right|, \quad (4)$$

Упростив выражение, получим:

$$D_i = \left| \frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right|, \quad (5)$$

Для приведения разнородных метрик к единой шкале применяется нормализация. Обозначим $L_{\min}, L_{\max}$и $D_{\min}, D_{\max}$ как экстремальные значения по множеству всех сторон. Тогда нормированные критерии для стороны s_i вычисляются как:

$$S_{L,i} = \begin{cases} 1.0, & L_{max} = L_{min} \\ \dfrac{L_i - L_{min}}{L_{max} - L_{min}}, & \textit{иначе} \end{cases}, \quad (6)$$

$$S_{D,i} = \begin{cases} 1.0, & D_{max} = D_{min} \\ 1 - \dfrac{D_i - D_{min}}{D_{max} - D_{min}}, & \textit{иначе} \end{cases}, \quad (7)$$

Интегральная оценка стороны формируется как:

$$Score_i = 0.4 \cdot S_{L,i} + 0.6 \cdot S_{D,i}, \quad (8)$$

Коэффициенты $w_L = 0.4$ и $w_D = 0.6$ отражают физический приоритет задачи: двупалый схват требует надёжной опоры, но критически важным условием успешного захвата является совмещение плоскости губок с верхней относительно камеры гранью объекта.

Сторона s_{best} с максимальным значением $Score_i$ выбирается в качестве референсной. Строится направляющий вектор:

$$\vec{v} = (dx, dy), \quad (9)$$

где,

$$dx = x_2 - x_1, \quad (10)$$

$$dy = y_2 - y_1, \quad (11)$$

Для устранения неоднозначности направления алгоритм принудительно ориентирует вектор вправо:

$$dx < 0 \Rightarrow (x1, y1) \leftrightarrow (x2, y2) \Rightarrow dx \leftarrow -dx, dy \leftarrow -dy \quad (12)$$

Угол наклона рассчитывается по формуле (10):

$$\theta_{rad} = \operatorname{atan} 2(dy, dx), \quad (13)$$

Результат переводится в градусную меру $\theta_{deg} = \theta_{rad} \cdot \frac{180}{\pi}$ и приводится к диапазону $[0°, 180°)$:

$$\theta_{final} = \begin{cases} \theta_{deg} + 180°, & \theta_{deg} < 0 \\ \theta_{deg}, & \textit{иначе} \end{cases}, \quad (14)$$

Нормализация в полуинтервал $[0,180)$ обусловлена осевой симметрией двупалого схвата: поворот рабочего органа на $180°$ не изменяет кинематическую конфигурацию захвата, что позволяет системе управления однозначно интерпретировать результат без учёта знака направления.

В результате определяем необходимую сторону для позиционирования схвата робота-манипулятора. Пример работы алгоритма представлен на рисунке 4, где нужная сторона выделена голубой линией.

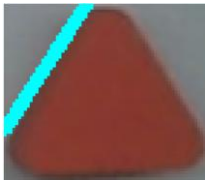


Рис. 4 – Выделенная сторона фигуры

В результате был разработан метод определения угла ориентации схвата робота-манипулятора. Данный подход обеспечивает захват геометрических фигур, размещённых на однородном белом фоне и обладающих исключительно прямолинейными границами. Разработанный алгоритм будет интегрирован в итоговую систему управления манипулятором, обеспечивая позиционирование схвата относительно граней целевых объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юревич Е. И. Основы робототехники, 4 изд. – БХВ-Петербург, 2018.
2. Ручкина Д. А. Использование технического зрения для сортировки объектов роботом. – 2024.

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ ПОСЛЕ НАГРЕВА В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

Васильев Р.А., студент 2 года магистратуры
Научный руководитель - к.т.н., ст. преподаватель **Жуков П.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Горячий прокат стали – один из важных этапов металлургического передела, заключающийся в придании стальных заготовкам необходимых форм и прочностных качеств. В основе данного технологического процесса лежит пластическая деформация разогретого твердого тела, с целью уменьшения механического сопротивления этой деформации. Для реализации нагрева, обычно, применяют многозонные (поэтапные) пламенные печи. Заготовка проходит через различные температурные зоны печи, постепенно нагреваясь и стабилизируясь по температуре. Такие тепловые агрегаты в масштабах крупных металлургических производств обладают существенной энергоемкостью.

Для увеличения их энергоэффективности возможна разработка надсистем оптимизации нагрева. Для разработки такой системы необходимо построение математической модели прогнозирования температуры заготовки после её нагрева. Одним из способов построения такой модели может быть восстановление зависимости между температурой заготовки после нагрева и различными показателями внутри печи. Выполним математическую постановку задачи.

Пусть есть некоторое вещественное множество X, характеризующееся набором наблюдаемых технологических параметров на печи:

$$\boxed{X = [x_1, x_2, ..., x_n], X \subset \mathbb{R}^n} \quad (1)$$

Пусть имеется некоторое банахово пространство F, такое что для любого объекта из него выполняется:

$$\boxed{f : X \to Y, Y = \mathbb{R}, f \in F} \quad (2)$$

Здесь f – это истинная функция зависимости, которая неизвестна. Для нее вводится некоторый аппроксимационный оператор A, такой что:

$$\boxed{A : F \to G \subset F} \quad (3)$$

Таким образом, поиск зависимости температуры нагретой заготовки от наблюдаемых технологических параметров нагрева сводится к поиску такого A, чтобы удовлетворяло условию:

$$\boxed{\|A \cdot f - f\|_F \to 0} \quad (4)$$

Данную задачу можно решать различными способами, среди которых и классический регрессионный анализ. Основная сложность заключается в природе данных, которая затрудняет описание оператора A при помощи линейных моделей.

Существует способ поиска A среди детерминированных моделей математической физики, однако данные модели обладают существенным недостатком. Они требуют адаптации, что помимо прочего, может потребовать определения зависимости различных теплофизических параметров процесса от времени и температуры, что сделать на рабочем объекте затруднительно.

Опираясь на сказанное выше, в данной работе рассматривается подход к решению задачи с использованием машинного обучения на основе различных универсальных аппроксиматоров. Существующие методы и модели способны описывать сложные математические зависимости в зашумленных данных. Список выбранных универсальных аппроксиматоров для решения поставленной задачи отображен в таблице 1.

Таблица 1 – Модели машинного обучения.

Модель	Описание
Нейронная сеть прямого распространения	Хорошо описывает нелинейные зависимости
Градиентный бустинг над DART деревьями	Альтернатива нейронным сетям, требующая меньше вычислительных мощностей с предотвращением переобучения
LSTM	Нейронная сеть, хорошо работающая с числовыми последовательностями
Физически-информированная нейронная сеть	Нейронная сеть, учитывающая физику процесса.

Для обучения моделей использовались данные с действующей шестизонной методической печи металлургического комбината Белгородской области.

Всего в наборе было представлено 20226 записей, из которых 16180 составили обучающую подвыборку, остальные 4046 – тестовую подвыборку. Структура набора данных представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Набор данных для обучения нейронной сети.

Обозначение	Описание
T1R - T6R	Температура в правой части соответствующей зоны
T1L – T6L	Температура в левой части соответствующей зоны
F1Air – F6Air	Расход воздуха в соответствующей зоне
F1Gas – F6Gas	Расход газа в соответствующей зоне
tIN1.2 – tIN5.6	Время нахождения заготовки между двумя парами зон
Psum	Суммарное давление в печи
U	Процент открытия шибера дымохода
Tsmoke	Температура отводимых газов
dPSmoke	Разряжение в печи
Tsteel	Температура заготовки при поступлении в прокатный стан

Сначала на этом наборе данных обучалась нейронная сеть прямого распространения. Нейронные сети представляют собой совокупность простых математических функций, объединенных в слоистую структуру, за счет чего они способны решать задачи аппроксимации с нелинейной зависимостью между входными сигналами и целевым значением. Структура сети представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Структура нейронной сети прямого распространения.

Тип слоя	Количество нейронов
Dense	31
Dense	62
Dense	62
Dense	1

Для обучения использовалась библиотека Keras [1] для языка программирования Python. Функция активации в скрытых слоях – ReLU [2], в выходном слое – линейная. Результаты обучения сети представлены в таблице 4. График обучения и работы сети представлен на рисунке 1.

Таблица 4 – Результат обучения нейронной сети прямого распространения.

Метрика	Значение
MAE	16.007

RMSE	21.702
R2	0.516
Максимальная ошибка	130.101
Минимальная ошибка	0.005
Стандартное отклонение	21.598

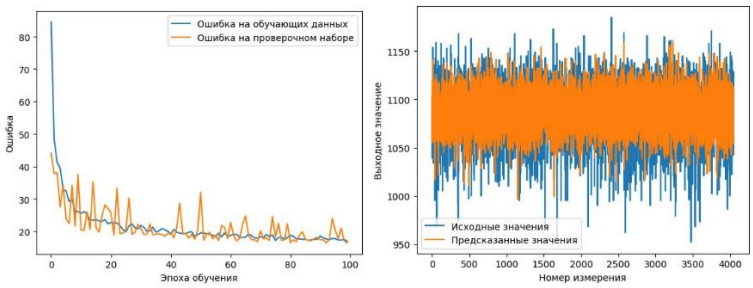


Рис. 1. – График обучения сети прямого распространения и график её работы на тестовой подвыборке.

Затем была обучена модель градиентного бустинга над DART деревьями с использованием библиотеки XGBoost [3,4] для языка программирование Python. Алгоритм градиентного бустинга широко используется для решения задач прогнозирования и классификации. Он является ансамблевым методом машинного обучения, суть которого заключается в объединении нескольких простых аппроксиматоров для создания более мощной модели. DART деревья используют операцию отсечения некоторых деревьев для предотвращения переобучения модели [5]. Результат обучения представлен в таблице 5. График обучения и работы модели представлен на рисунке 2.

Таблица 5 – Результат обучения модели градиентного бустинга.

Метрика	Значение
MAE	14.557
RMSE	19.283
R2	0.618
Максимальная ошибка	110.161
Минимальная ошибка	0.003
Стандартное отклонение	19.286

Далее обучалась рекуррентная нейронная сеть LSTM при помощи библиотеки Keras. Функция активации в скрытом слое – ReLU, в выходном слое – линейная. LSTM является разновидностью рекуррентных нейронных сетей, которые из-за обратной связи способны учитывать и текущие сигналы, и предыдущие, благодаря чему такие нейронные сети хорошо решают задачи с числовыми последовательностями. Структура этой сети представлена в таблице 6.

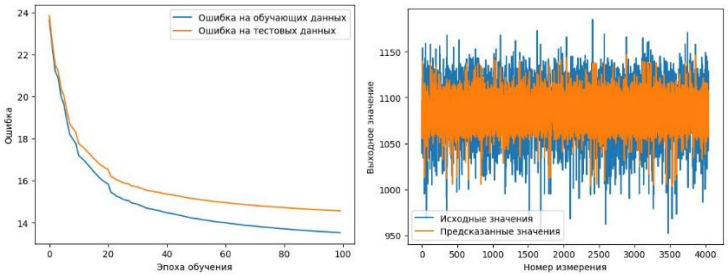


Рис. 2. – График обучения модели градиентного бустинга и график её работы на тестовой подвыборке

Таблица 6 – Структура LSTM сети.

Тип слоя	Количество нейронов
LSTM	93
Dense	1

Результат обучения сети представлен в таблице 7. График обучения и работы представлен на рисунке 3.

Таблица 7 – Результат обучения LSTM сети.

Метрика	Значение
MAE	16.711
RMSE	23.003
R2	0.456
Максимальная ошибка	229.626
Минимальная ошибка	0.005
Стандартное отклонение	22.839

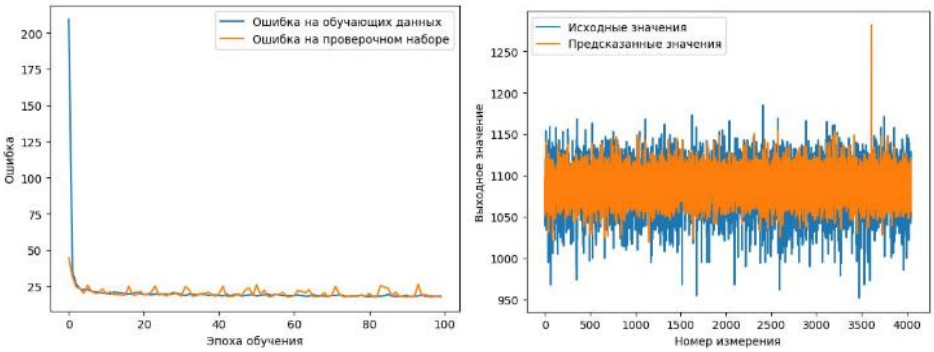


Рис. 3 – График обучения LSTM сети и график её работы на тестовой подвыборке

Наконец, была обучена физически-информированная нейронная сеть (PINN) [6] при помощи библиотеки DeepXDE с TensorFlow в качестве бэкэнда [7]. Такие сети предназначены для решения задач прогнозирования, связанных с физическими процессами. PINN представляют собой классические нейронные сети с добавлением дифференциального уравнения в частных производных в функцию потерь для связи с физикой самого процесса, а также могут быть добавлены начальные и граничные условия. За счет связи с физическим процессом возможно достигнуть более лучшей точности прогнозирования, чем при использовании классических нейронных сетей.

Для обучения сети из исходного набора данных (табл. 2) использовались время нахождения заготовки в печи и её итоговая температура. Также был добавлены последовательно координаты в диапазоне [0, 0.3].

Сеть обучалась на уравнении нестационарной теплопроводности для одномерной геометрии [8]:

$$\boxed{c\rho\frac{\partial T}{\partial t}=\lambda\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}} \tag{2}$$

где c – теплоемкость стали, ρ – плотность стали, λ – коэффициент теплопроводности стали. Для упрощения формализации был введен коэффициент температуропроводности α:

$$\boxed{\alpha=\frac{\lambda}{c\rho}} \tag{3}$$

Значение α было рассчитано, исходя из физических характеристик стали 20 – 0.00001363 м^2/с. (плотность – 7850 кг/м^3, теплоемкость – 486 Дж/(кг˚С), коэффициент теплопроводности – 52 Вт/(м˚С)). Структура сети представлена в таблице 8. Обучение сети проводилось без начальных и граничных условий.

Таблица 8 – Структура PINN.

Тип слоя	Количество нейронов
Dense	2
Dense	92
Dense	92
Dense	92
Dense	92
Dense	1

Результат обучения сети представлен в таблице 9. График обучения и работы сети приведен на рисунке 4.

Таблица 9 – Результат обучения PINN.

Метрика	Значение
MAE	24.383
RMSE	30.286
R2	0.057

По результатам проведенных экспериментов была составлена таблица 10.

Таблица 10 – Результаты обучения моделей.

Модель	MAE	RMSE	R2	Макс.ошибка	Мин.ошибка	Стандартное отклонение
Нейронная сеть прямого распространения	16.006	21.701	0.516	130.101	0.005	21.598
XGBoost	14.557	19.283	0.618	110.162	0.003	19.286
LSTM	16.711	23.003	0.456	229.626	0.005	22.839
PINN	24.383	30.286	0.057	143.597	0.0005	31.928

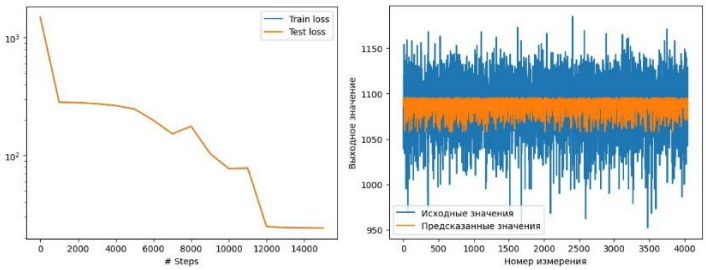


Рис. 4. – График обучения PINN и график её работы на тестовой подвыборке

Исходя из вышеописанных экспериментов, градиентный бустинг над DART показывает наилучший результат прогнозирования температуры заготовки и наиболее точно описывает процесс нагрева. Модель физически-информированной нейронной сети показывает наихудший результат, но при этом остаются возможности для улучшения этой модели: добавление начальных и граничных условий и увеличение размерности геометрии, что может повысить качество работы модели PINN.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Keras 3 API Documentation [Электронный ресурс]. – URL: https://keras.io/api (дата обращения: 15.11.2025);

2. Layer activation functions [Электронный ресурс]. – URL: https:// https://keras.io/api/layers/activations (дата обращения: 10.11.2025);

3. XGBoost Documentation [Электронный ресурс]. – URL: https://xgboost.readthedocs.io/en/stable/index.html (Дата обращения: 15.11.2025;

4. Chen T. Xgboost: A scalable tree boosting system / T. Chen, C. Guestrin // Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining. – 2016. – С. 785-794

5. Vinayak R. K. Dart: Dropouts meet multiple additive regression trees / R.K. Vinayak, R. Gilad-Bachrach // Artificial Intelligence and Statistics. – PMLR, 2015. – С. 489-497

6. Karniadakis G. E., Kevrekidis I. G., Lu L., Perdikaris P., Wang S., Yang L. Physics-informed machine learning //Nature Reviews Physics. – 2021. – Т. 3. – №. 6. – С. 422-440;

7. DeepXDE API Documentation [Электронный ресурс]. – URL: https://deepxde.readthedocs.io/en/latest/index.html (дата обращения: 10.11.2025);

8. Вороненко Б.А., Крысин А. Г., Пеленко В. В., Цуранов О. А. Аналитическое описание процесса нестационарной теплопроводности /Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 48 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ АВТОМАСТЕРСКОЙ

Вербицкий Д.А., студент 4 курса
Научный руководитель – старший преподаватель **Ковтун Н.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Автоматизация бизнес-процессов в предприятиях среднего и малого бизнеса является стратегической необходимостью в условиях современной экономики [1]. Для небольших субъектов хозяйствования, таких как автосервисы, внедрение информационных систем является ключевым фактором повышения операционной эффективности и минимизации ошибок ручного учета и существенного улучшения клиентского сервиса.

Предприниматели посредством автоматизации учета запасных частей, планирования ремонтных работ, управления клиентской базой и финансовыми потоками способны получить возможность трансформировать деятельность в управляемый и прогнозируемый бизнес-процесс. В свою очередь, это позволит высвободить ресурсы для стратегического развития предприятия и повышения качества услуг.

В таком контексте разработка собственного программного решения под конкретные требования малого бизнеса приобретает особую актуальность и выгодность. Современный характер автоматизации средств разработки информационных систем, включая фреймворки с открытым исходным кодом, модульные архитектуры, кодогенераторы, кардинально снизил порог входа для создания индивидуальных решений [2]. Для автомастерских это дает возможность точечно автоматизировать свои уникальные типовые процессы.

На общем предпринимательском фоне существует актуальная проблема, связанная с отсутствием гибких решений, способных быть доработанными под нужды конкретного предприятия. Вместо них на рынке присутствуют индустриальные решения для целых сегментов рынка, применение которых связано с риском из-за масштаба и функциональной избыточности таких систем. Кроме того, проприетарный характер таких решений не позволяет проводить собственные доработки, а потребует дополнительные расходы на адаптацию, которые также сопряжены с риском.

Целью является разработка информационной системы, способной стать программной основой для создания цифрового офиса автомастерской. Для реализации поставленной цели необходимо выполнить проектирование алгоритмической основы информационной системы и разработать интерфейс.

Основной алгоритм работы системы, представленный на рисунке 1, начинается с подпрограммы аутентификации и авторизации, после чего система загружает базовую статистику и переходит в режим ожидания реакции пользователя. Пользователь может осуществить одно из следующих действий:

1. Открыть формы для работы с клиентами.
2. Открыть форму для работы со списком автомобилей.
3. Открыть формы для работы с договорами.
4. Открыть форму для работы со списком услуг.
5. Открыть форму для работы со списком расходных материалов.
6. Открыть форму для работы со списком сотрудников.
7. Открыть форму для отображения истории обслуживания по автомобилям.
8. Обновить экранную форму.

Каждое из действий приводит к срабатыванию подпрограммы загрузки данных с уникальными атрибутами, присущими открываемой форме. Это позволяет избежать дублирования процессов.

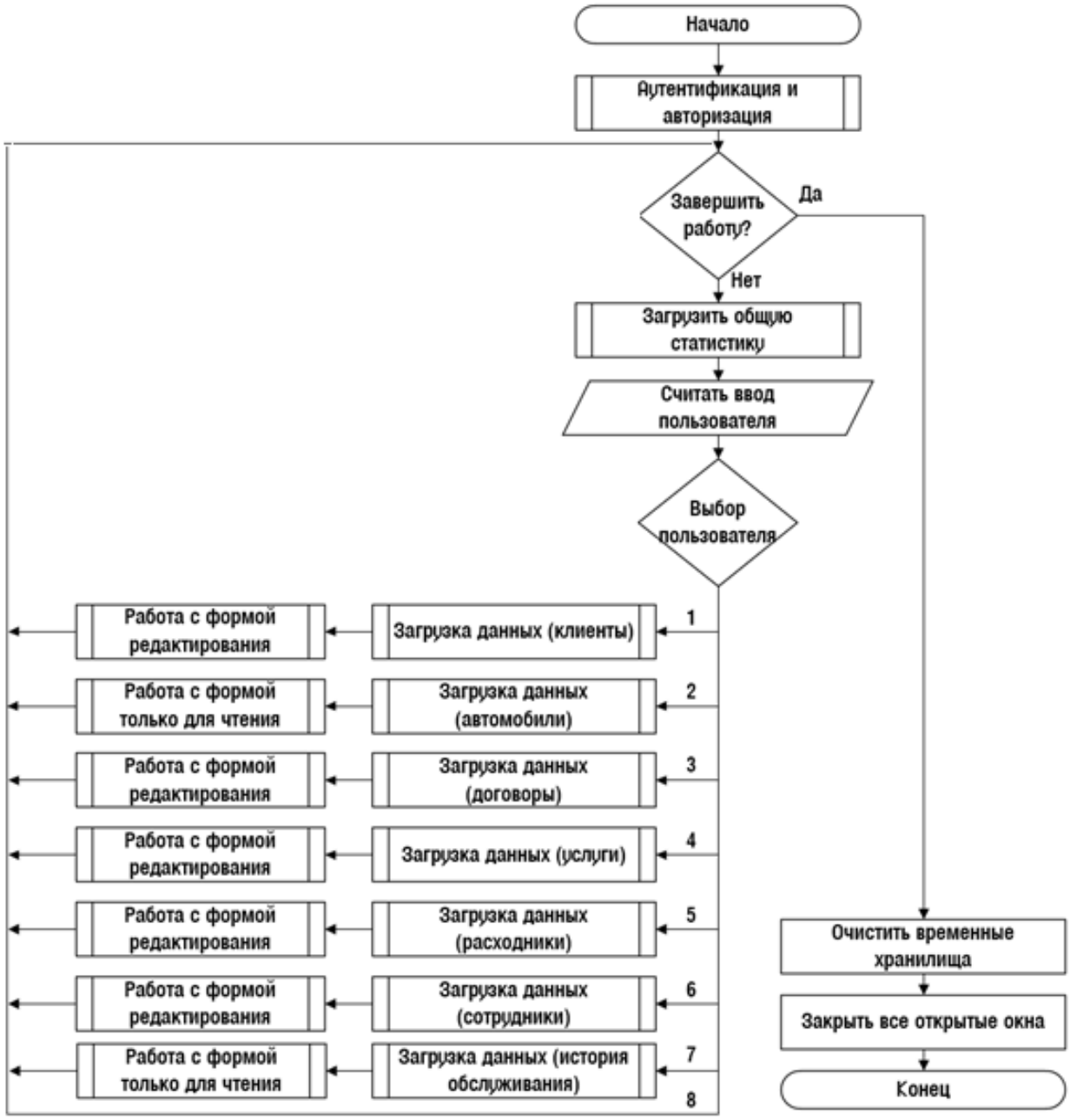


Рис. 1 – Основной алгоритм работы системы

Информационная система реализована в виде клиент-серверного программного продукта в дизайне Dashboard на технологии WPF.

Вход в систему открывает главную экранную форму (рисунок 2), на которую сразу же подгружается основная статистика. Главная форма содержит в себе информацию о работе с автомобилями. В центре располагается базовая информация по работе автомобильного сервиса, а слева располагается навигационное меню. Оно позволяет вызывать другие формы и работать с данными на них.

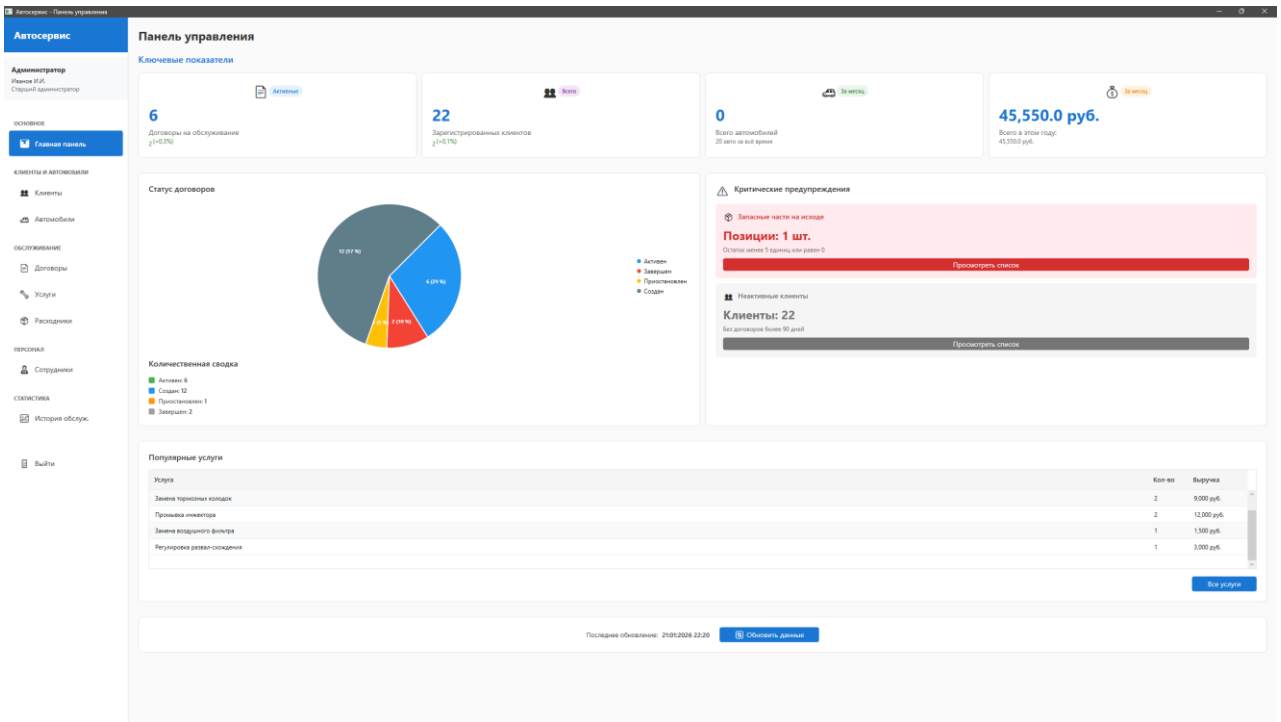


Рис. 2 – Главная экранная форма

Разработанная информационная система обеспечивает автоматизацию ключевых бизнес-процессов автомастерской: приём заявок, учёт заказ-нарядов, управление складом запчастей, ведение клиентской базы и формирование отчётности. Решение может быть адаптировано под любые малые предприятия сферы услуг, с добавлением новых модулей (интеграция с поставщиками, онлайн-запись, SMS-уведомления), с переходом на облачную архитектуру (SaaS). Система построена на современном стеке технологий (PHP, MySQL), имеет интуитивно понятный интерфейс и гибкую архитектуру, что позволяет выполнять её дальнейшее развитие и адаптацию под нужды конкретного предприятия.

Внедрение данной ИС повысит операционную эффективность автосервиса, снизит издержки и улучшит качество клиентского сервиса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ипатова, Э. Р. Методологии и технологии системного проектирования информационных систем : учебник / Э. Р. Ипатова, Ю. В. Ипатов. – 3-е изд., стер. – Москва: ФЛИНТА, 2021. – 256 с. : табл., схем. – (Информационные технологии). – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=79551 (дата обращения: 04.04.2026). – Библиогр.: с. 95-96. – ISBN 978-5-89349-978-0. – Текст : электронный.

2. Проектирование информационных систем : учебник и практикум для вузов / Д. В. Чистов, П. П. Мельников, А. В. Золотарюк, Н. Б. Ничепорук. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2026. — 273 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-20361-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/583207 (дата обращения: 04.04.2026).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ С УЧЕТОМ УПРУГИХ СВЯЗЕЙ

Волков М. В., студент 2 курса магистратуры
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Молодых А. В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Объектом автоматизации является шахтная подъемная установка с приводной машиной типа 2Ц-5х2,8. Установка представляет собой электромеханический комплекс, предназначенный для вертикального транспортирования полезного ископаемого. Упрощенное устройство скиповой подъемной установки представлено на рисунке 1. Конструктивно установка состоит из приводного барабана 10, электропривода, копра 9, копрового шкива 8, головных канатов 6 и двух скипов 5 и 12, движущихся встречно. Один из скипов находится в груженом состоянии, а второй — в порожнем, причем по завершении рабочего цикла их состояния меняются. Данная особенность определяет специфику объекта как механической системы с переменным статическим моментом нагрузки на валу двигателя.

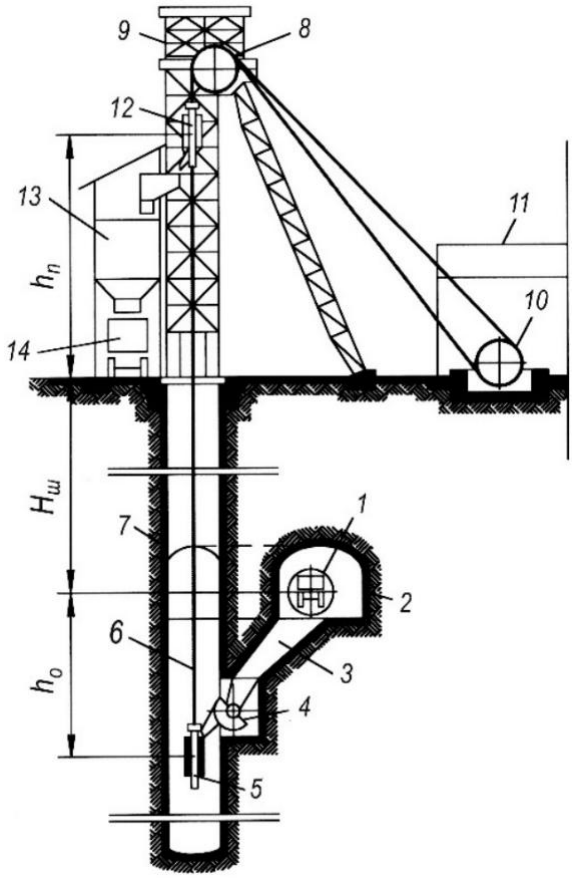


Рис. 1 – Устройство шахтной подъемной установки

Исходная механическая система «груженый скип — барабан — порожний скип» является трехмассовой. Для синтеза системы регулирования скорости она была упрощена до двухмассовой расчетной схемы. Упрощение выполнено путем рассмотрения двух характерных случаев. В первом случае груженый скип находится вверху, непосредственно у барабана. Это позволяет рассматривать груженый скип и барабан как единую обобщенную массу, в то время как порожний скип находится внизу и образует вторую массу. Во втором случае порожний скип находится вверху, у барабана, и объединяется с ним в обобщенную

массу, а груженый скип находится внизу и представляет собой вторую массу. В обоих случаях упругая связь между массами создается длинным канатом, соединяющим барабан с удаленным скипом.

Учитывая высокие требования к точности отработки скорости и наличие нежестких механических связей в виде длинных канатов, в работе рассмотрены две структуры управления электроприводом. Первая структура представляет собой классическую систему подчиненного регулирования, содержащую внутренний контур тока и внешний контур скорости первой массы. Синтез регуляторов в данной системе выполнен в соответствии с методом подчиненного регулирования. Регулятор тока настроен на технический оптимум, что обеспечивает минимальное время регулирования при практическом отсутствии перерегулирования. Регулятор скорости настроен на симметричный оптимум, что позволяет получить астатизм второго порядка и высокую точность отработки задающего воздействия. Параметры регуляторов тока и скорости рассчитаны в соответствии с принятыми настройками [1].

Вторая структура [2] представляет собой систему, замкнутую по вектору состояния механизма. Применение обратных связей по вектору состояния позволяет организовать управление в условиях, когда не все переменные состояния доступны прямому измерению. Кроме того, данный подход обеспечивает целенаправленное влияние на собственные колебания системы и демпфирование упругих деформаций. Структурная схема системы представлена на рисунке 2.

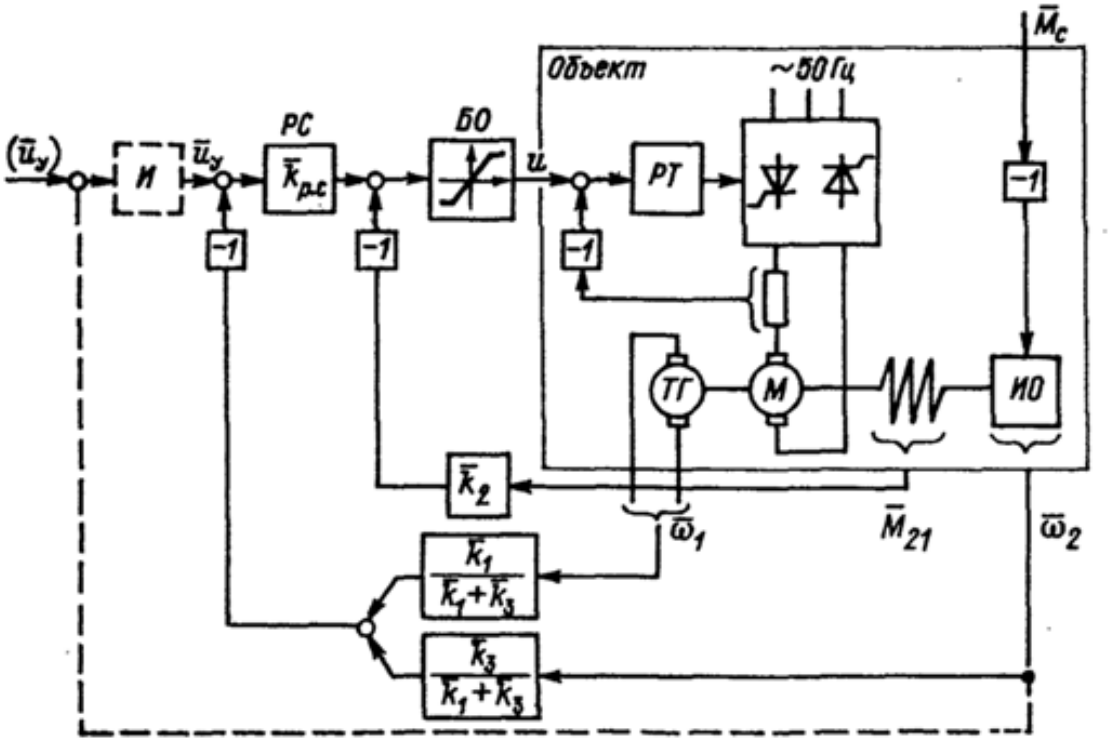


Рис. 2 – Система управления скоростью, замкнутая по вектору состояния механизма

Для оценки качества синтезированной системы с подчиненным регулированием было проведено моделирование в пакете MATLAB / Simulink. Имитационные модели электропривода с двухмассовой механической частью для каждого из двух рассматриваемых случаев представлены на рисунках 3 и 4 соответственно.

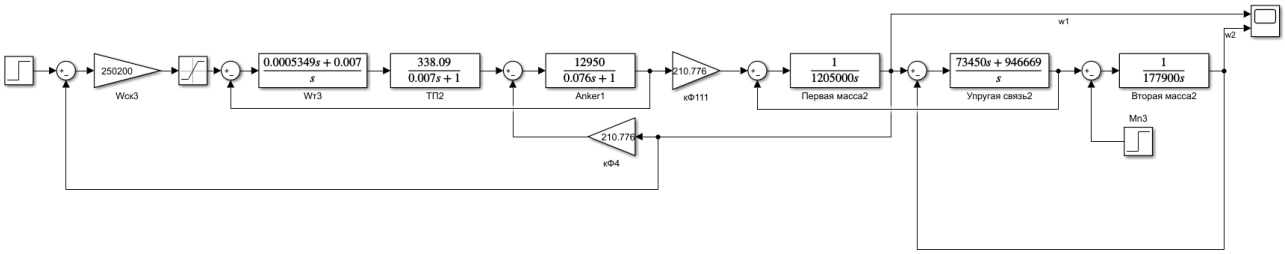


Рис. 3 – Модель системы подчинённого регулирования для случая загруженного скипа, находящегося в нижнем положении.

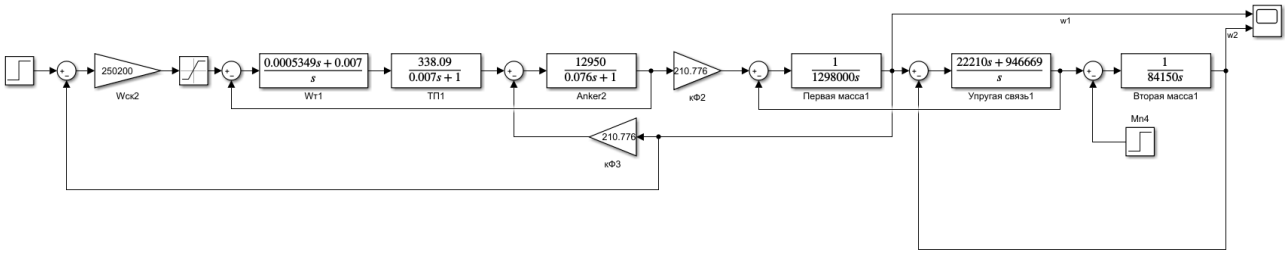


Рис. 4 – Модель системы подчинённого регулирования для случая загруженного скипа, находящегося в верхнем положении.

Моделирование выполнено для режима пуска установки с последующим приложением момента нагрузки, соответствующего загрузке скипа. На рисунках 5 и 6 представлены зависимости скорости первой массы ω_1 и скорости второй массы ω_2 от времени для системы с подчиненным регулированием координат.

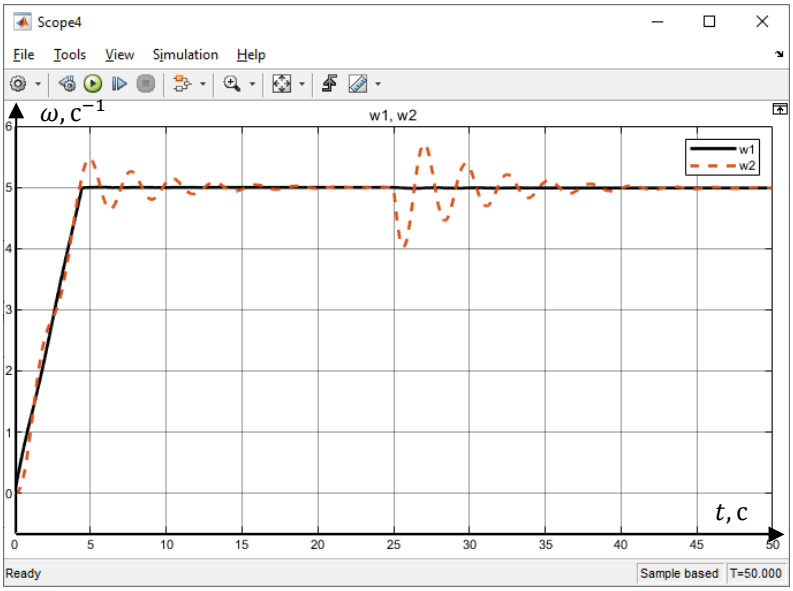


Рис. 5 – Переходные процессы скоростей $\omega_1(t)$ и $\omega_2(t)$ в системе подчиненного регулирования для случая загруженного скипа внизу

Для оценки качества синтезированной системы, замкнутой по вектору состояния, было также проведено моделирование в пакете MATLAB / Simulink. Имитационные модели электропривода с двухмассовой механической частью для каждого из двух рассматриваемых случаев представлены на рисунках 7 и 8 соответственно.

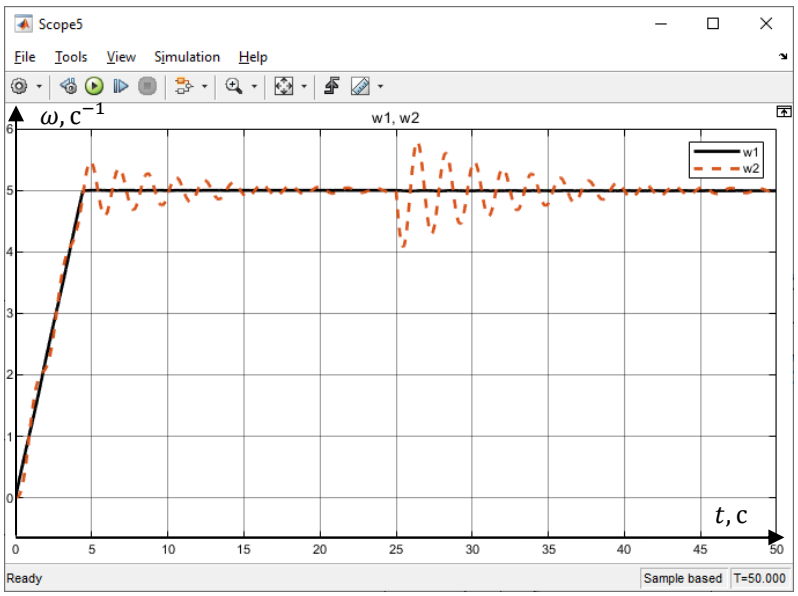


Рис. 6 – Переходные процессы скоростей $\omega_1(t)$ и $\omega_2(t)$ в системе подчиненного регулирования для случая загруженного скипа вверху

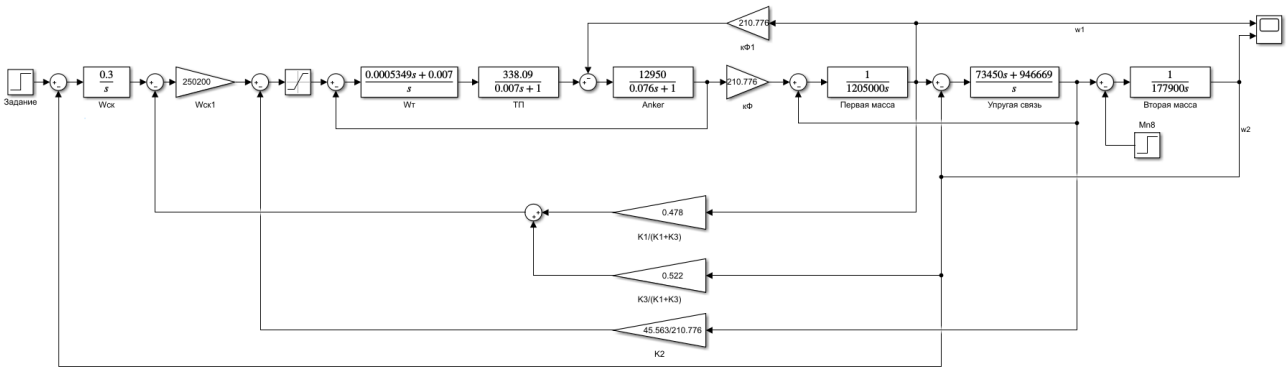


Рис. 7 – Модель системы, замкнутой по вектору состояния, для случая загруженного скипа, находящегося в нижнем положении.

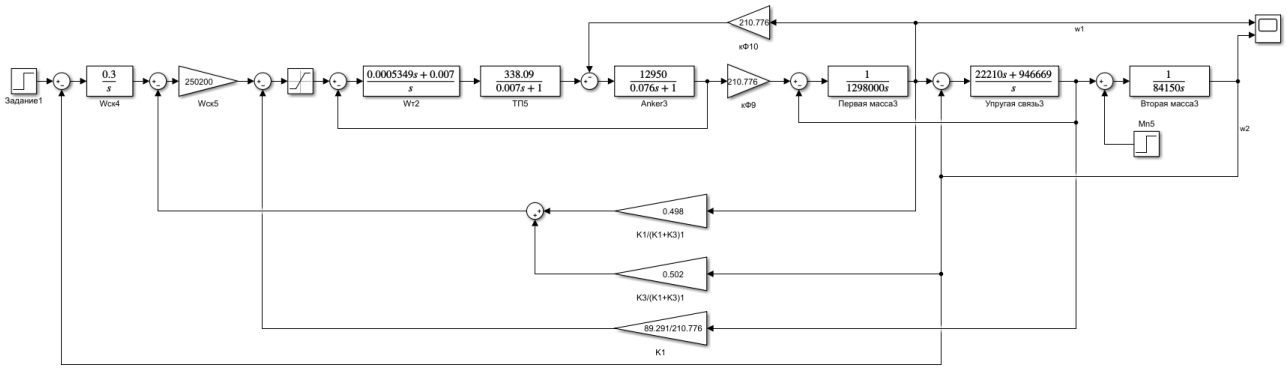


Рис. 8 – Модель системы, замкнутой по вектору состояния, для случая загруженного скипа, находящегося в верхнем положении.

Моделирование выполнено для режима пуска установки с последующим приложением момента нагрузки, соответствующего загрузке скипа. На рисунках 9 и 10 представлены зависимости скорости первой массы ω_1 и скорости второй массы ω_2 от времени.

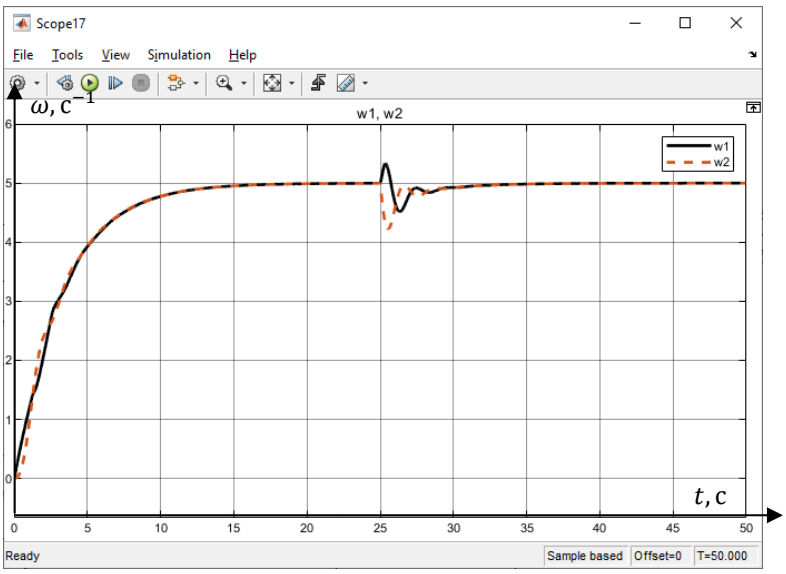


Рис. 9 – Переходные процессы скоростей $\omega_1(t)$ и $\omega_2(t)$ в системе, замкнутой по вектору состояния объекта, для случая загруженного скипа внизу

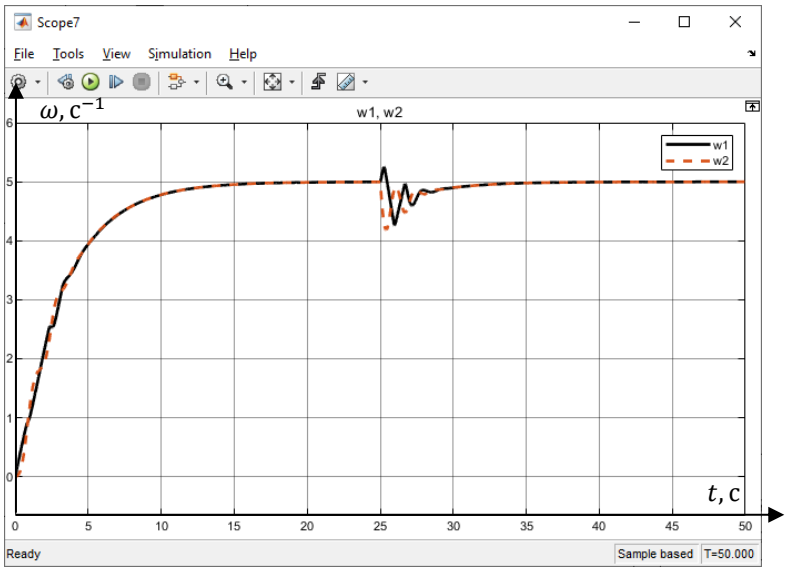


Рис. 10 – Переходные процессы скоростей $\omega_1(t)$ и $\omega_2(t)$ в системе, замкнутой по вектору состояния объекта, для случая загруженного скипа вверху

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод, что обе системы электропривода обеспечивают устойчивую работу шахтной подъемной установки во всем диапазоне нагрузок. Однако система, замкнутая по вектору состояния механизма, демонстрирует лучшие динамические показатели по сравнению с системой подчиненного регулирования. В системе, замкнутой по вектору состояния механизма, наблюдаются меньшие амплитуды упругих колебаний и сниженное перерегулирование по скорости. Это подтверждает эффективность применения обратных связей по вектору состояния для демпфирования механических колебаний и корректность выполненного синтеза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шрейнер Р. Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов: учеб. пособие для вузов. Ч. 1. Электроприводы постоянного тока с подчиненным регулированием координат: Урал. гос. проф.-пед. ун-т. – Екатеринбург: Издательство УГППУ, 1997. – 277 с.

2. Борцов Ю. А., Соколовский Г. Г. Тиристорные системы электропривода с упругими связями – М.: Издательство «Энергия», 1979. – 160 с.

МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АЭП ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Волобуев Д.С., магистрант
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Гамбург К.С.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет МИСИС», Россия, г. Старый Оскол

В работающих системах ПЧ-АДК под нагрузкой наблюдается дрейф параметров в целом, но более важно наличие динамики электрофизических параметров привода от условий работы. Сопротивление статора или индуктивность потока АД изменяются при нагреве, насыщении магнитной системы или износе, что ведет к снижению точности и потерям, снижению устойчивости системы регулирования [1].

Одновременно с попытками минимизировать недостатки скалярного и векторного управления, в последнее время активней развивается направление неклассических схем регулирования. Аппарат современных методов мягких вычислений, в частности, искусственных нейронных сетей, развивается стремительно, открывая актуальные и перспективные направления исследований. Это касается и схем неклассического регулирования электроприводами.

Известно, что искусственные нейронные сети являются инструментом с недоказанной устойчивостью в задачах управления [2]. Тем не менее, в гибридных связях с классическими алгоритмами или контроллерами, они не требуют априорной модели объекта. Вместо этого, они способны адаптивно обучаться в режиме реального времени, компенсируя изменения параметров двигателя, внешние возмущения или нелинейные эффекты, которые сложно описать аналитически. Это позволяет говорить о потенциальной возможности нивелирования ключевых недостатков векторного управления: снижение чувствительности к вариациям параметров, повышение робастности и отказоустойчивости системы.

Кроме этого, применение ИНС открывает путь к реализации оптимальных стратегий управления электроприводами. Существующая методология построения, обучения и настройки позволяет реализовывать в гибридных системах энергоэффективные стратегии управления, недоступные линейным алгоритмам [3].

На сегодняшний день существует несколько актуальных подходов и направлений в гибридном нейросетевом управлении электроприводами асинхронного типа. Наиболее практично ориентированным направлением можно считать адаптивное и компенсирующее управление на основе НС-наблюдателя состояний. Векторное управление критически зависит от точности оценки вектора потокосцепления ротора, для чего используются наблюдатели состояний, например, Луенбергера [4]. Нейронные сети здесь используются для создания нейросетевых наблюдателей состояния. Они обучаются на данных работы электродвигателя, чтобы в реальном времени оценивать ненаблюдаемые величины (поток, момент, скорость) и параметры (например, активное сопротивление ротора), чтобы напрямую компенсировать зависимость от изменяющихся параметров. При этом гибридная система сохраняет классический ПИ-регулятор в контуре, но получает от нейронной сети точные данные для преобразований и компенсации.

Несмотря на то, что данный подход решает ключевую проблему векторного управления, а именно зависимость от параметров объекта, он не оптимизирует никак стратегию управления. Даже с точными данными, ПИ-регуляторы остаются линейными и могут быть неоптимальными для сложных нелинейных режимов. Кроме этого, идентификация при помощи НС-наблюдателя требует больших объемов данных для обучения, которые бы охватывали все возможные рабочие токи и состояния деградации двигателя.

Помимо озвученного выше подхода к построению гибридных систем на основе ИНС, существует также подход с нейросетевой линеаризацией обратной связью. В этом подходе

нейронная сеть обучается выступать в роли нелинейного компенсатора или даже прямого нелинейного регулятора. В первом случае нейронная сеть обучается формировать такое управляющее воздействие, которое линеаризует нелинейную динамику двигателя в реальном времени. В результате, для внешнего контура управления двигатель ведет себя почти как линейный объект, и с ним успешно работают простые линейные регуляторы. Во втором случае нейронная сеть целиком заменяет собой линейный регулятор.

Основным достоинством изложенного выше подхода является потенциальная возможность полной линеаризации системы с раскрытием её максимальной динамики. Тем не менее, на практике нейронные сети в данном подходе критически зависят от точности и полноты обучения. Ошибка в моделировании нелинейности может привести к неустойчивости. При этом отказ от детерминированных линейных регуляторов в пользу нелинейной нейронной сети, которая выступает «черным ящиком», сопряжен с потерей предсказуемости системы, что также ведет к утечке её устойчивости.

Исходя из этого, в последние годы активно развивается подход на основе обучения с подкреплением (Reinforcement Learning) [5]. Гибридные RL схемы управления электроприводами используют базовые модели и адаптации в реальном времени, чтобы преодолеть ключевые практические ограничения в описанных выше подходах: огромное время для сбора реальной статистики и недостаточная устойчивость нейросетевых схем замещения регуляторов. Суть этого подхода заключается в создании двухэтапной адаптивной гибридной схемы, в которой на первом этапе нейронная сеть обучается в высокоточной виртуальной среде, которая основана на физической модели двигателя. Это позволяет безопасно исследовать основные состояния, отрабатывать критические режимы и формировать базовую стратегию управления, которую запоминает нейронная сеть. После этого использует адаптация в реальном времени, при которой нейронная сеть на реальном объекте за короткий сеанс безопасной работы дополнительно адаптирует уже настроенные параметры. В таких системах нейросетевой блок называют RL-агент и, как правило, он действует в симбиозе с классическими алгоритмами векторного управления, которые обеспечивают физические ограничения среды.

Главный недостаток данного подхода заключается в необходимости индивидуально подбирать функции наград. Функции награды – это формализованная политика действий RL-агента, выраженная в математической форме, опираясь на которую модели ИНС адаптируют свое поведение. Именно данная функция формирует общую стратегию управления, что позволяет регулировать не только скорость, но и энергоэффективность электродвигателя.

На сегодняшний день, данный подход является относительно свежим. В литературе, как в отечественной, так и в зарубежной только формируется вектор исследований. Всё еще актуальными остаются вопросы: синтеза функций наград для RL-агентов; структура и RL-агента; архитектура гибридизации RL-агента с линейными алгоритмами векторного управления.

Таким образом, в рамках работы важной практической задачей видится разработка имитационной модели RL-схемы гибридного управления АЭП в режиме статической вентиляторной нагрузки. Данная модель позволит выполнить не только качественное и количественное сравнение RL-подхода по отношению к векторному управлению в заданных условиях, но и станет основой для проведения исследований поведения RL-агентов в условиях различных функций наград.

RL-подход или «Обучение с подкреплением» в машинном обучении – это парадигма, в которой агент обучается принимать оптимальные действия в некоторой среде, чтобы максимизировать совокупную награду через последовательность взаимодействий.

Ключевое его отличие от парадигмы обучения с учителем, когда есть размеченные данные, заключается в отсутствии эталонных наблюдений, которые формирует ожидаемые «правильные» ответы. Присутствует только скалярная обратная связь, которая определяет награду агента за взаимодействие со средой. При этом, такая обратная связь может быть редкой, запаздывающей и зашумленной, ввиду чего агент учится методом проб и ошибок [5,6].

В рамках данной парадигмы принято говорить, что агент исследует некоторую среду, получая наблюдения и награды, и со временем вырабатывает стратегию поведения, которая приводит к наибольшему долгосрочному успеху. Такая стратегия называется политикой.

В основе обучения с подкреплением лежит Марковский процесс принятия решения (MDP) [7]. Сущность которого заключается во влиянии на текущее состояние агента, только его предыдущего состояния, без учета всей истории в моменте:

$$\boxed{P(s' \mid s,a) = Pr(S_{t+1} = s' \mid S_t = s, A_t = a)}, \tag{1}$$

где $\boxed{P(s' \mid s,a)}$ – это функция переходов, характеризующая вероятность смены состояния ($s`$) из состояния (s); S – это множество состояний среды; A – это множество действий агента, которое может зависеть от состояния ($A(s)$).

Оценка качества смены состояния в принятии решения происходит при помощи специальной функции наград $\boxed{R(s,a,s')}$, которая характеризует поощрение или штраф агента за переход из состояния (s) в состояние ($s`$), посредством действия (a):

$$\boxed{R(s,a) = \mathrm{E}[R_{t+1} \mid S_t = s, A_t = a]} \tag{2}$$

Таким образом, математическая основа RL – это картеж из нескольких значений:

$$\boxed{RL = (S, A, P, R, \gamma)}, \tag{3}$$

где γ – это коэффициент дисконтирования решения, заключенный в интервале [0, 1]. Он определяет важность будущих наград, стремление этого коэффициента к 0 делает RL-агента «близоруким», поднимая в ценности немедленную награду, а стремление к 1 на оборот делает его слишком дальновидных, из-за чего тот перестает воспринимать локальные неудачи и сильно сглаживает их [5].

В основе работы RL-агента лежит принятие в моменте решения на основе Марковского процесса, который не учитывает общую историю. Это допущение необходимо, чтобы не порождать паразитические связи и не создавать дилеммы при обучении такого агента. Для того, чтобы учитывать динамику, в сущность обучения с подкреплением вводиться понятие «Политики» (π) [5]. Это стратегия поведения агента, правило по которому он выбирает действие в каждом конкретном состоянии, которое и приводит к их смене. Чаще всего используется стохастическая политика:

$$\boxed{\pi(a \mid s) = Pr(A_t = a \mid S_t = s)} \tag{4}$$

Часть RL-агента, выбирающего действие (a), согласно политике (π), называется «актор». В ситуации отсутствия явно размеченных данных поиск оптимальной политики сопряжен с неявной оценкой поведения актора, для чего вводиться два вида функций [5].

Функция ценности состояния представляет собой ожидаемую дисконтированную сумму будущих наград, начиная из состояния (s) и следуя политике (π) [5,6]:

$$\boxed{V^{\pi}(s) = \mathrm{E}_{\pi}[G_t \mid S_t = s]}, \tag{5}$$

где G_t – это некоторый возврат, определяемый как:

$$\boxed{G_t = R_{t+1} + \gamma R_{t+2} + \gamma^2 R_{t+3} + \ldots = \sum_{k=0}^{k} \gamma^k R_{t+k+1}} \tag{6}$$

Вторая функция представляет собой формализацию ожидаемого возврата, начиная с из состояния (s), совершив действие (a), и далее следую политике (π). Это ключевая функция для обучения RL-агента, так как она напрямую оценивает качество действий:

$$\boxed{Q^{\pi}(s,a) = \mathrm{E}_{\pi}[G_t \mid S_t = s, A_t = a]} \tag{7}$$

Из-за функции (7) RL-подход в зарубежной литературе еще называют Q-обучение [8]. На практике, уравнения (6) и (7) требуют рекурсивного учета последующих состояний, ввиду чего они преобразуются следующим образом:

$$\boxed{V^{\pi}(s) = \sum_{a \in A} \pi(a \mid s) \cdot \sum_{s' \in S} P(s' \mid s,a) \cdot [R(s,a,s') + \gamma V^{\pi}(s')]} \tag{8}$$

$$\boxed{Q^{\pi}(s,a)=\sum_{s'\in S}P(s'\mid s,a)\cdot[R(s,a,s')+\gamma\sum_{a'\in A}\pi(a'\mid s')\cdot Q^{\pi}(s',a')]} \quad (9)$$

Оптимальная функция ценности состояния (8) и Q-функции (9) определяется, как максимальное значение по всем возможным политикам:

$$\boxed{V^{*}(s)=\max_{\pi}V^{\pi}(s)} \quad (10)$$

$$\boxed{Q^{*}(s,a)=\max_{\pi}Q^{\pi}(s,a)} \quad (11)$$

Зная это, можно применить функцию оптимальности Беллмана и получить уравнение относительно (7):

$$\boxed{Q(s,a)=\sum_{s'\in S}P(s'\mid s,a)[R(s,a,s')+\gamma\cdot\max_{a'}Q(s',a')]} \quad (12)$$

Данное уравнение нелинейное из-за оператора максимизации, и не содержит политики (π). Оно определяет, что оптимальная ценность действия (s, a) равна среднему результату, плюс дисконтированная оптимальная ценность лучшего действия в следующем состоянии. Зная оптимальный вид функции (12) можно решить оптимизационную задачу и определить оптимальную политику (π*):

$$\boxed{\pi^{*}(a\mid s)=\arg\max_{a\in A}\left(Q^{\pi}(s,a)\right)} \quad (13)$$

Решение оптимизационной задачи (13) на основе уравнения для оптимальности Беллмана – (12) формирует набор методов, основанных на ценностях. Их основная идея оценить оптимальную Q-функцию (11), после чего ввести критерий целевого обновления:

$$\boxed{Y_t=R_{t+1}+\gamma\cdot\max_{a'}Q(S_{t+1},a')}, \quad (14)$$

который затем используется в некотором правиле обновления

$$\boxed{Q(S_t,A_t)<Q(S_t,A_t)+\alpha\cdot[Y_t-Q(S_t,A_t)]}, \quad (15)$$

где α – это скорость обучения. Агент использует политику, основанную на Q-функции, но обучается по оптимальному целевому правилу. Такое обучение позволяет задавать стратегии, к которым будет стремиться RL-агент, например энергоэффективное или оптимальное управление.

Таким образом, задача RL – это решить уравнение Беллмана для оценивания и оптимальности, не зная точной модели среды (P, R). Подход, описанный выше полностью детерминированный. В его основе нет параметрических моделей, как например нейронных сетей. При этом, область его применения ограничена параметрами среды (P, R), а применение для нелинейных сред крайне затруднительно.

Ввиду описанного выше, применяют подход, в основе которого лежит параметризация политики (π), например нейросетью с параметрами (θ) и прямая оптимизация этих параметров, с коррекцией ожидаемого выхода:

$$\boxed{J(\theta^{*})=\max\left(\mathrm{E}[G_t\mid\pi_{\theta}]\right)}, \quad (16)$$

двигаясь, например, вдоль определенного градиента:

$$\boxed{\nabla_{\theta}J(\theta)\propto\mathrm{E}\cdot\pi_{\theta}[G_t\cdot\nabla_{\theta}\ln_{\pi_{\theta}}(A_t\mid S_t)]} \quad (17)$$

У данного подхода также существуют определенные недостатки, связанные с формализацией функции наград и её дифференцируемости под задачи параметрической настройки [11]. Поэтому, на сегодняшний день, всё чаще применяют гибрид первого и второго подхода. В нем выделяют:

1. Актора, как параметризованную политику (π_{θ}), которая выбирает действие, например нейронную сеть;
2. Критика – параметризированную функцию ценности ($V_w(s)$), которая определяет, насколько хороши состояния и действия актора.

Таким образом, критики оценивает веса (w), чтобы лучше прогнозировать возврат, а актор обновляет собственные веса (θ), используя градиент, направляемый критиком, выполняя линеаризацию функции возврата до следующего вида:

$$\boxed{A(s,a) = Q(s,a) - V_w(s)}, \tag{18}$$

где $V_w(s)$ – это выход критика, при текущих весах w.

Таким образом, сущность RL-подхода заключается в оптимизации поведения (политики) (13) для максимизации долгосрочной дисконтированной награды через решение уравнения Беллмана в условиях неполного знания модели среды, где фундаментальными элементами являются функции ценности (5) и (7) и их рекурсивных оценок (8) и (9), которые связывают немедленные выгоды с будущими последствиями.

В контексте рассмотренного выше RL гибридный контур управления асинхронным электродвигателем может быть представлен в следующем функциональном виде (рис.1).

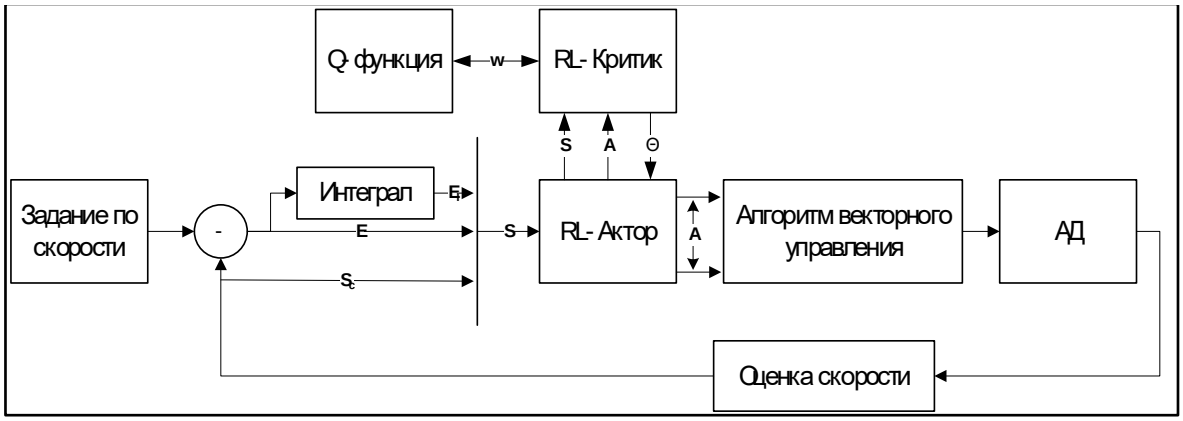


Рис. 1 – Схема гибридного контура управления электродвигателем

Здесь S – это набор состояний, который определяется кортежем значений (E_I, E, S_c), где E_I – это интеграл текущей ошибки по скорости, E – это текущая ошибка по скорости, S_c – это текущая скорость АД. A – это набор действий, который представляет собой кортеж (τ, ψ), где τ – это крутящий момент, а ψ – это величина относительного значения потокосцепления.

Таким образом, для синтеза подобного гибридного контура необходимо:

1. Определить модель актора и критика, на основе нейросетей глубокого обучения;
2. Определить оптимальную Q-функцию, для проведения настройки критика и оптимизации параметров актора;
3. Выполнить сбор сигналов S и A и предварительно обработать их;
4. Построить имитационную модель среды, в которой RL-агент был бы в состоянии обучаться, для чего необходимо выполнить расчет параметров АД.

Ввиду последнего пункта, было решено провести анализ параметров ЭД и выполнить построение имитационной модели классического векторного управления для создания контрольной среды качественного и количественного сравнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов П.Е. Теория электропривода: учебное пособие для студ. высш. учеб. Заведений / П.Е. Данилов, В.А. Барышников, В.В. Рожков – М.; Берлин: Директ-Медиа, 2018. – 415 с. – текст: непосредственный;
2. Schwan R., Jones C. N., Kuhn D. Stability verification of neural network controllers using mixed-integer programming //IEEE Transactions on Automatic Control. – 2023. – Т. 68. – №. 12. – С. 7514-7529. – текст: электронный;
3. Гарифуллина, Н. А. Применение искусственного интеллекта в управлении электроприводами переменного тока // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 8, № 11(152). – С. 108-114. – текст: электронный;

4. Букреев, В. Г. Анализ точности оценивания состояний асинхронного электропривода алгоритмами Люенбергера и Калмана // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 35-43. – текст: электронный;
5. Sutton R. S. et al. Reinforcement learning: An introduction. – Cambridge: MIT press, 1998. – Т. 1. – №. 1. – С. 9-11. – текст: электронный;
6. Mnih V. et al. Human-level control through deep reinforcement learning //nature. – 2015. – Т. 518. – №. 7540. – С. 529-533. – текст: электронный;
7. Garcia F., Rachelson E. Markov decision processes //Markov Decision Processes in Artificial Intelligence. – 2013. – С. 1-38. – текст: электронный;
8. Lyu J. et al. Mildly conservative q-learning for offline reinforcement learning //Advances in Neural Information Processing Systems. – 2022. – Т. 35. – С. 1711-1724. – текст: электронный;

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИС УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВАМИ «УМНОГО ДОМА»

Газдовская В.Е., студент 4 курса
Научный руководитель – старший преподаватель **Ковтун Н.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Развитие технологий автоматизации жилых и коммерческих объектов привело к широкому распространению систем «Умного дома» [1], обеспечивающих управление освещением, климатом, безопасностью и другими инженерными подсистемами. Несмотря на активное развитие данной области, существующие решения остаются неоднородными как с технологической, так и с архитектурной точки зрения. На практике наблюдается разделение на два класса систем: ориентированные на массового потребителя закрытые экосистемы с ограниченными возможностями расширения и профессиональные решения, обладающие высокой надёжностью, но требующие значительных затрат на внедрение и сопровождение. Особенно заметны недостатки этих подходов при автоматизации объектов средней сложности, таких как частные дома с развитой инженерной инфраструктурой или гостиницы средней вместимости, где одновременно предъявляются требования к гибкости, масштабируемости и удобству эксплуатации.

Одним из ключевых ограничений современных систем является способ реализации пользовательского интерфейса. В большинстве случаев интерфейс жёстко встроен в клиентское приложение, что приводит к необходимости его обновления при каждом изменении логики управления или конфигурации оборудования. Это усложняет сопровождение системы, увеличивает затраты на эксплуатацию и ограничивает возможности адаптации под различные категории пользователей. В условиях, когда на одном объекте взаимодействуют пользователи с различными ролями — от владельца и администратора до технического персонала и гостей, — требуется принципиально иной подход к формированию интерфейсов, позволяющий динамически изменять их структуру и функциональность без вмешательства в клиентское программное обеспечение.

Предлагаемая архитектура автоматизированной информационной системы основана на переносе логики формирования пользовательского интерфейса и бизнес-логики управления на серверную сторону. Такой подход позволяет рассматривать интерфейс не как статически реализованный набор экранов, а как набор данных, описывающих структуру взаимодействия пользователя с системой. Клиентское приложение в этом случае выполняет исключительно функцию отображения и передачи пользовательских действий, оставаясь универсальным инструментом визуализации.

С точки зрения архитектуры система включает три взаимосвязанных компонента: серверную часть, клиентские приложения и аппаратные устройства. Сервер выступает центральным элементом, обеспечивающим хранение конфигурации, обработку событий, выполнение логики управления и генерацию пользовательских интерфейсов. Клиентские приложения реализуют отображение интерфейса на различных устройствах — мобильных телефонах, планшетах, настенных панелях или персональных компьютерах — и взаимодействуют с сервером посредством унифицированного API [2]. Аппаратный уровень представлен контроллерами, датчиками и исполнительными механизмами, соединёнными с сервером через проводные протоколы, обеспечивающие высокую надёжность и предсказуемость работы.

Ключевой особенностью предлагаемого подхода является динамическое формирование пользовательского интерфейса на основе метаданных, передаваемых сервером. Интерфейс описывается в формате, независимом от платформы, и включает в себя структуру экранов, типы визуальных элементов, их взаимосвязи и привязку к данным и действиям. В

отличие от традиционных решений, где интерфейс жёстко определён на этапе разработки клиента, в данной архитектуре он формируется непосредственно в процессе выполнения системы. Это позволяет адаптировать интерфейс под конкретного пользователя, учитывая его роль, контекст использования и текущую конфигурацию оборудования.

Рис. 1 – Схема взаимодействия компонентов системы «Умный дом»

Особое значение приобретает типизация пользовательских интерфейсов, которая в рамках предлагаемой архитектуры приобретает функциональный характер. Интерфейсные элементы можно рассматривать как отображение различных аспектов взаимодействия пользователя с системой. Операционные элементы обеспечивают непосредственное управление устройствами и представлены, например, кнопками включения, переключателями или регуляторами параметров. Мониторинговые элементы отражают текущее состояние системы, предоставляя пользователю информацию в виде индикаторов, графиков или текстовых сообщений. Сценарные элементы позволяют запускать заранее определённые последовательности действий, объединяющие несколько устройств или подсистем. Наконец, особое место занимают ролевые интерфейсы, формируемые на основе прав доступа пользователя и определяющие доступный ему набор функций.

Связь между интерфейсом и серверной логикой реализуется через механизм декларативного описания действий и источников данных [3]. Каждый элемент интерфейса содержит не только визуальные параметры, но и ссылки на выражения, определяющие его поведение. Например, значение, отображаемое в элементе, может вычисляться на сервере на основе текущего состояния системы, а действие пользователя интерпретироваться как вызов определённой функции. Таким образом, интерфейс становится проекцией серверной модели данных и логики, а не самостоятельным источником поведения.

Для формализации логики управления в системе используется модель S-выражений, заимствованная из языков семейства Lisp [4]. В рамках данного подхода все операции, условия и сценарии представляются в виде вложенных списков, которые могут интерпретироваться сервером. Это позволяет унифицировать представление логики, упростить её передачу и обеспечить возможность динамического изменения без перекомпиляции клиентского или серверного кода. Например, условие автоматического включения климатической системы при превышении температуры может быть задано в виде выражения, которое сервер будет вычислять при каждом обновлении данных.

Использование S-выражений даёт ряд преимуществ, связанных с декларативностью и расширяемостью модели. Во-первых, логика становится независимой от конкретного языка программирования, что облегчает её модификацию и анализ. Во-вторых, появляется

возможность построения предметно-ориентированного языка, адаптированного под задачи автоматизации зданий. В-третьих, сервер может выполнять валидацию и контроль безопасности выражений перед их выполнением, что особенно важно в условиях распределённой системы.

Важным аспектом является разделение ответственности между клиентом и сервером. Клиентское приложение не содержит бизнес-логики и не принимает решений о состоянии системы. Его задача сводится к отображению полученных данных и отправке действий пользователя в унифицированной форме. Сервер, в свою очередь, выполняет интерпретацию действий, обновляет состояние системы и формирует новые представления интерфейса. Такой подход соответствует концепции «тонкого клиента» и обеспечивает высокую степень централизации управления.

Для повышения эффективности взаимодействия используется механизм дельта-обновлений. При первом подключении клиент получает полное описание интерфейса и сохраняет его локально. При последующих обращениях он передаёт серверу информацию о версии кэша, после чего сервер отправляет только изменённые элементы. Это позволяет существенно сократить объём передаваемых данных и снизить задержки при обновлении интерфейса, что особенно важно для систем с большим количеством устройств и пользователей.

Анализ текущего состояния отрасли показывает, что переход к серверно-управляемым интерфейсам обусловлен практическими требованиями эксплуатации, а не абстрактными тенденциями. Увеличение числа устройств, усложнение сценариев управления и необходимость обеспечения безопасности приводят к тому, что централизованная модель становится более предпочтительной. При этом существующие решения, предлагаемые промышленными вендорами, часто ограничиваются использованием веб-интерфейсов, не обеспечивая полноценной интеграции с мобильными платформами и не предоставляя единой модели описания логики. В предлагаемой архитектуре эти ограничения устраняются за счёт унификации представления интерфейсов и логики, а также строгого разделения ролей компонентов системы.

Таким образом, разработанная архитектура обеспечивает качественно новый уровень гибкости и управляемости систем автоматизации зданий. Перенос логики на серверную сторону, использование декларативной модели описания интерфейсов и применение S-выражений для представления сценариев позволяют создать систему, способную адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации без необходимости модификации клиентского программного обеспечения. Это особенно важно для объектов с большим числом пользователей и сложной структурой управления, где требования к надёжности и удобству эксплуатации являются критическими.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция умного дома // CyberLeninka URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-umnogo-doma/viewer (дата обращения: 12.11.2025).

2. Мельник А. А. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕРФЕЙСА API // Вестник науки. 2025. №10 (91). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-printsipy-postroeniya-i-proektirovaniya-interfeysa-api (дата обращения: 08.04.2026).

3. Бродский Юрий Игоревич, Мягков Алексей Николаевич Декларативное и императивное программирование в имитационном моделировании сложных многокомпонентных систем // Инженерный журнал: наука и инновации. 2012. №2 (2). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/deklarativnoe-i-imperativnoe-programmirovanie-v-imitatsionnom-modelirovanii-slozhnyh-mnogokomponentnyh-sistem (дата обращения: 08.04.2026).

4. Гарольд Абельсон, Джеральд Джей Сассман, Джули Суссман Структура и интерпретация компьютерных программ. - 2-е изд. - М.: КДУ, 2022. - 608 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУТП ПРОИЗВОДСТВА ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ГАЗА ЦЕХА МЕТАЛЛИЗАЦИИ АО «ОЭМК ИМ.А.А.УГАРОВА»

Гончаров М.В., студент 4 курса
Научный руководитель - к.т.н., доцент **Кривоносов В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

АСУТП производства восстановительного газа цеха металлизации «АО ОЭМК им.А.А.Угарова» является неотъемлемой частью процесса производства окатышей, схема этапов металлизации [1] показана на рисунке 1. Рассмотрим технологический процесс производства восстановительного газа. В качестве исходного сырья используется природный газ. Тепло для нагрева и конверсии выделяется в межтрубном пространстве реформера за счет сжигания смеси топливного и природного газов в 120 главных горелках и сжигания природного газа в 36 вспомогательных горелках. Воздух на главные горелки подают от главной воздуходувки, на вспомогательные горелки – от вспомогательной воздуходувки. Часть конвертированного газа, проходящего через холодильник и охлажденного до температуры от 5 до 58 ºС, используют для регулирования температуры восстановительного газа во время запуска печи после остановки с выгрузкой шихты и для работы на низкотемпературном режиме. После коррекции конвертированного газа по содержанию CH_4 природным газом, полученный восстановительный газ поступает в зону восстановления печи через фурменные отверстия.

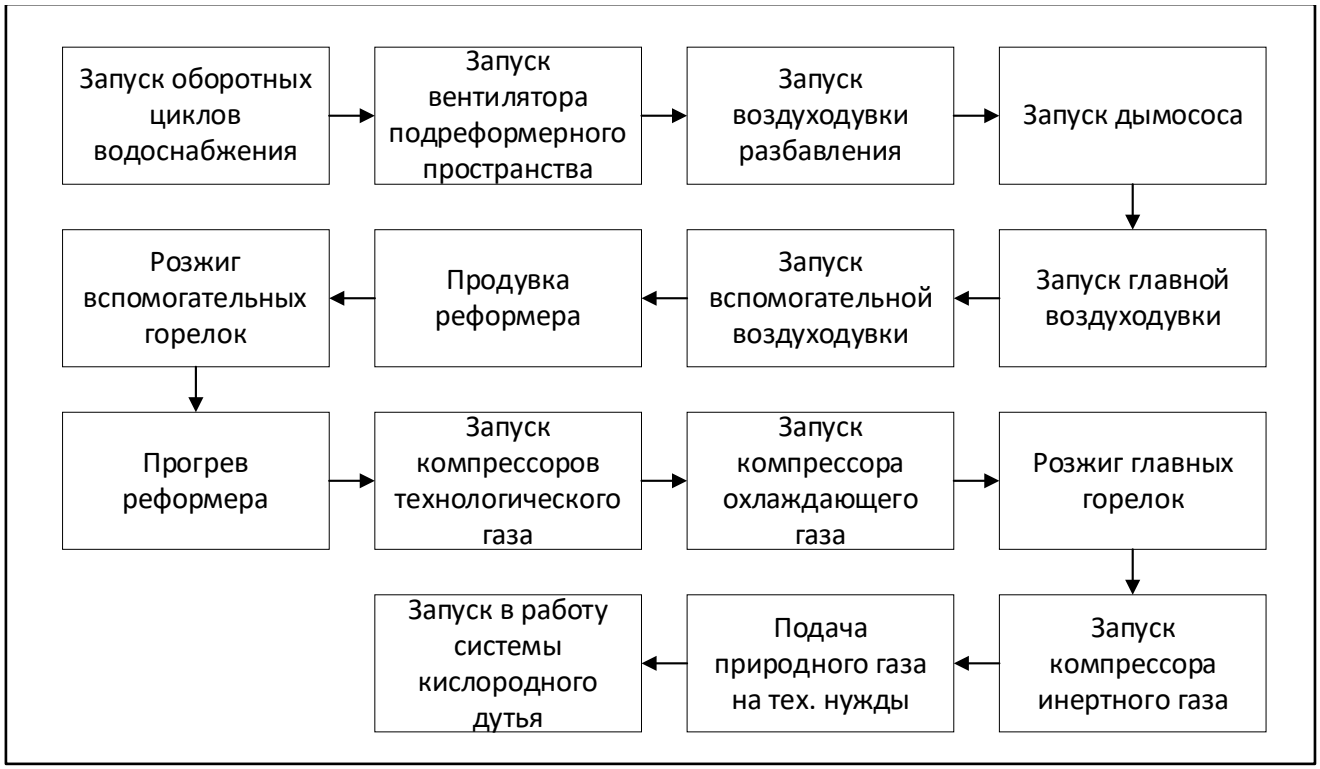


Рис. 2 – Технологическая схема этапов металлизации окатышей

Дымовые газы реформера поступают в рекуператор, где используются для подогрева воздуха, подаваемого на главные горелки, смешанного и природного газов, и далее дымососом отводятся в дымовую трубу. Часть дымовых газов используют для получения инертного газа.

Объектом автоматизации является система производства восстановительного газа. В систему производства восстановительного газа входят: реформер; рекуператор; дымосос;

главная воздуходувка; вспомогательная воздуходувка; вентилятор подреформерного пространства; трубопроводы воздуха для главных и вспомогательных горелок, колошникового, топливного, смешанного, конвертированного и восстановительного газов; дымопроводы.

Система производства восстановительного газа [2] предназначена для производства восстановительного газа и подачи в зону восстановления шахтной печи, удаления дымового газа. В рабочем режиме установки металлизации восстановительный газ выходит из зоны восстановления в виде колошникового газа, который очищают от пыли и охлаждают водой в скруббере колошникового газа. При этом его разделяют на два потока: технологический (2/3 части колошникового газа) и топливный газы (1/3 часть колошникового газа). Технологический газ подвергают сжатию в двух ступенях компрессоров до давления от 1,2 до 1,95 бар, где при заданной температуре технологического газа устанавливают в нем необходимую объемную долю паров воды. Далее технологический газ смешивают с подогретым природным газом в рекуператоре, в результате чего получается смешанный газ, который подогревают в рекуператоре и подают в реакционные трубы реформера.

В реформере происходят процессы конверсии природного газа окислителями технологического газа на никелевом катализаторе в 288 реакционных трубах при температуре свода реформера не менее 1070 ºС. В результате получается конвертированный газ.

Тепло для нагрева и конверсии выделяется в межтрубном пространстве реформера за счет сжигания смеси топливного и природного газов в 120 главных горелках и сжигания природного газа в 36 вспомогательных горелках. Воздух на главные горелки подают от главной воздуходувки, на вспомогательные горелки от вспомогательной воздуходувки.

Часть конвертированного газа, проходящего через холодильник конвертированного газа и охлаждающегося до температуры (40±10) ºС, используется для регулирования температуры восстановительного газа во время запуска печи после остановки с выгрузкой шихты, а также при возникновении нештатных ситуаций (резкое ухудшение качества окисленных окатышей, прекращение подачи меловой суспензии, нарушение целостности футеровки коллектора восстановительного газа и т.д.). При работе на высокотемпературной технологии холодильник конвертированного газа может не использоваться. После коррекции конвертированного газа природным газом по метану, полученный восстановительный газ с заданной температурой поступает в зону восстановления шахтной печи через фурменные отверстия. Дымовые газы реформера подают в рекуператор для подогрева воздуха, подаваемого на главные горелки, а также смешанного и природного газов и далее дымососом отводятся в дымовую трубу. Часть дымовых газов (до 10 %) используют для получения инертного газа.

Разрабатываемая система управления позволит контролировать давление в реформере, поддерживать необходимое давление дымовых газов, а также обеспечивать необходимый температурный режим в системе. Регулирование давления в реформере и давления дымовых газов будет проводиться по каскаду из трех датчиков на каждый контур. Показания будут сниматься с приборов, у которых на момент измерения, самое высокое давление/разрежение. Таким образом, исключается ситуация, при которой в одном из каналов недостаточное давление.

Для разработки системы управления была построена функциональная схема системы автоматического регулирования давления в реформере, приведенная на рисунке 2. Система состоит из трех контуров. Контур по давлению в реформере сравнивает уставку и текущее значение давления. После чего рассчитывается рассогласование по давлению, которое попадает на регулятор. Регулятор формирует задание по давлению дымовых газов после дымососа для контура регулирования давления дымовых газов после дымососа. Контур по давлению дымовых газов после дымососа сравнивает задание и текущее давление, вычисляет рассогласование и формирует сигнал управления на исполнительный механизм пневмопривода, управляющего заслонкой на трубе отвода дымовых газов.

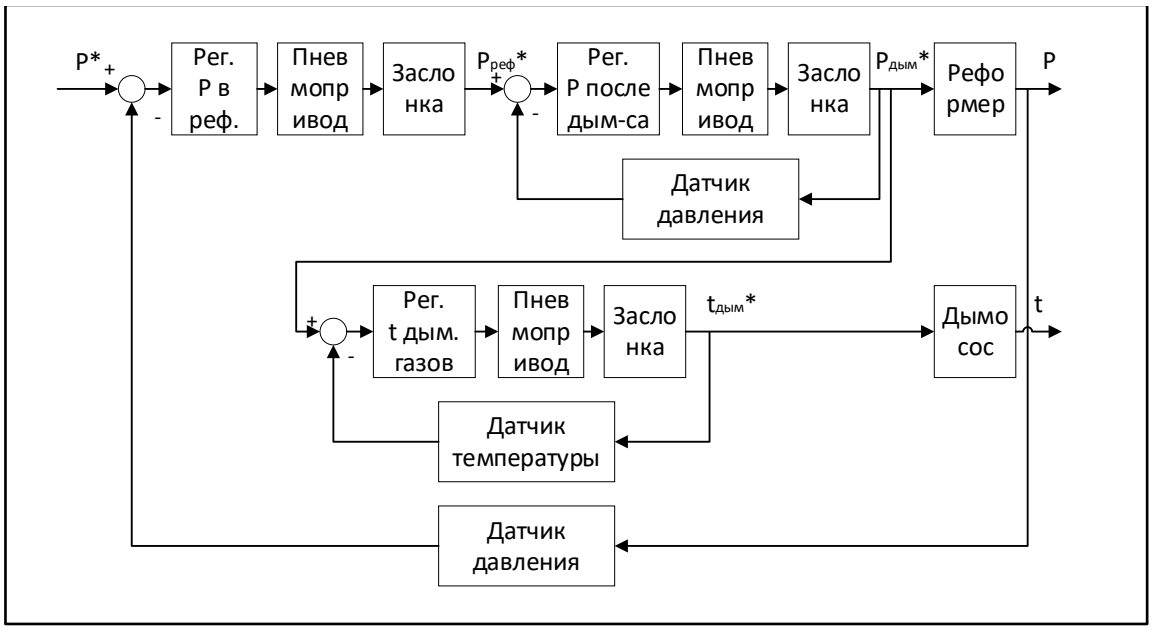


Рис. 2 – Функциональная схема системы регулирования давления в реформере

По текущей температуре дымовых газов вычисляется необходимое количество воздуха на разбавление. Исходя из текущей температуры формируется задание по температуре дымовых газов перед дымососом. Контур по температуре дымовых газов сравнивает задание и текущее значение температуры, вычисляет рассогласование и формирует сигнал управления на пневмопривод, управляющий заслонкой на трубе разбавления дымовых газов.

Для настройки контура регулирования давления была разработана математическая модель в среде Simulink Matlab. Многократное моделирования работы контура позволило подобрать оптимальные значения параметров ПИД-регуляторов. Моделировалась ситуация, близкая к рабочему процессу. Изначально в системе была введена уставка -5,0 мБар. В момент времени 10 минут поступило задание увеличить давление до -2,5 мБар. Через 5 минут система вышла на новое задание. Далее в 30 минут поступило ступенчатое возмущающее воздействие. Данное воздействие система отработала и вернула давление на заданное значение. Графики данного процесса приведены на рисунках 3 - 5.

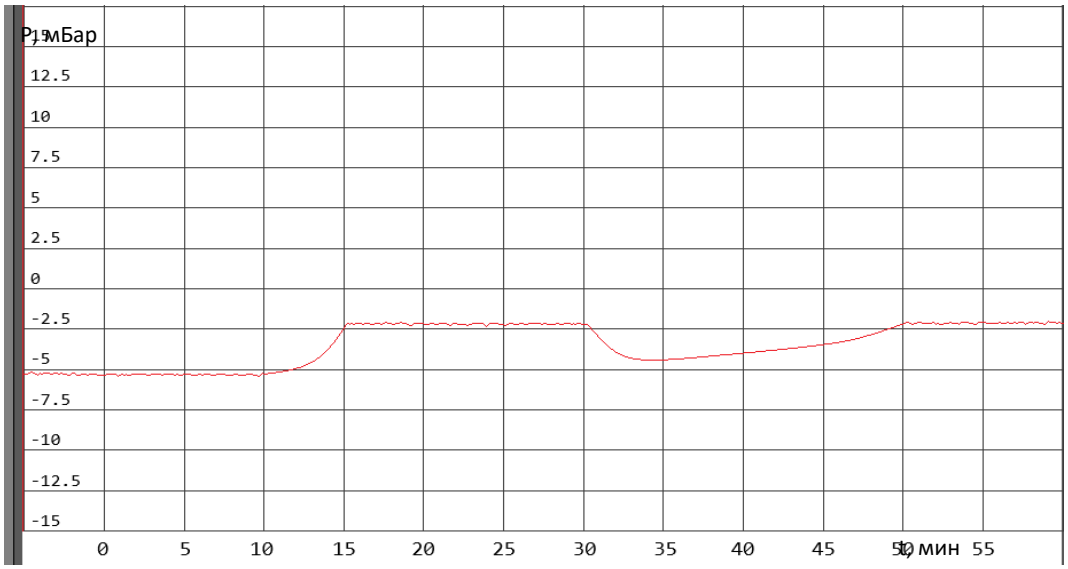


Рис. 3 – График изменения давления в реформере

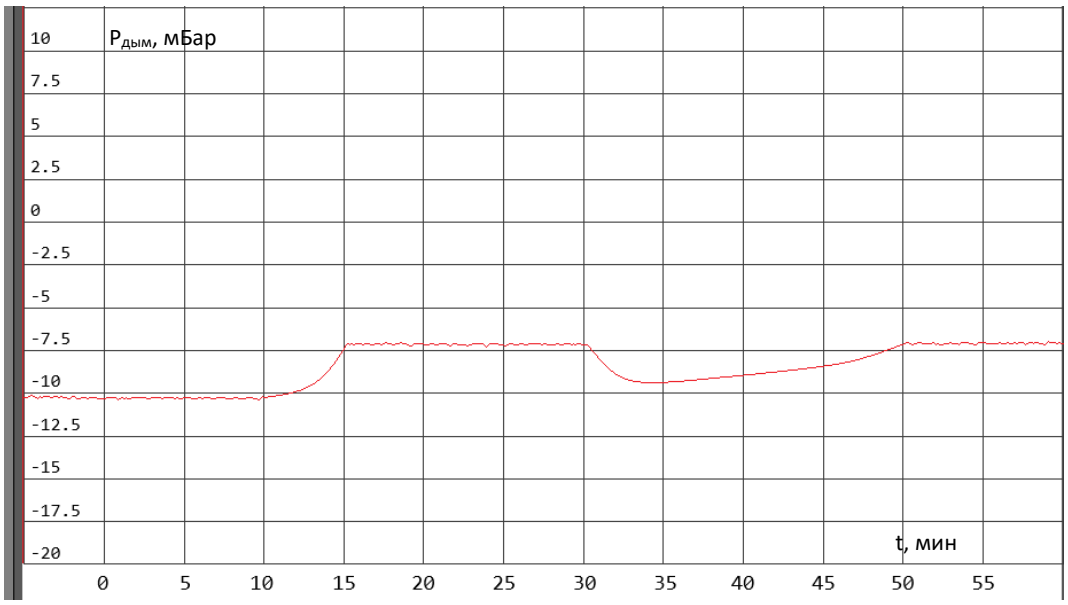


Рис. 4 – График изменения давления дымового газа

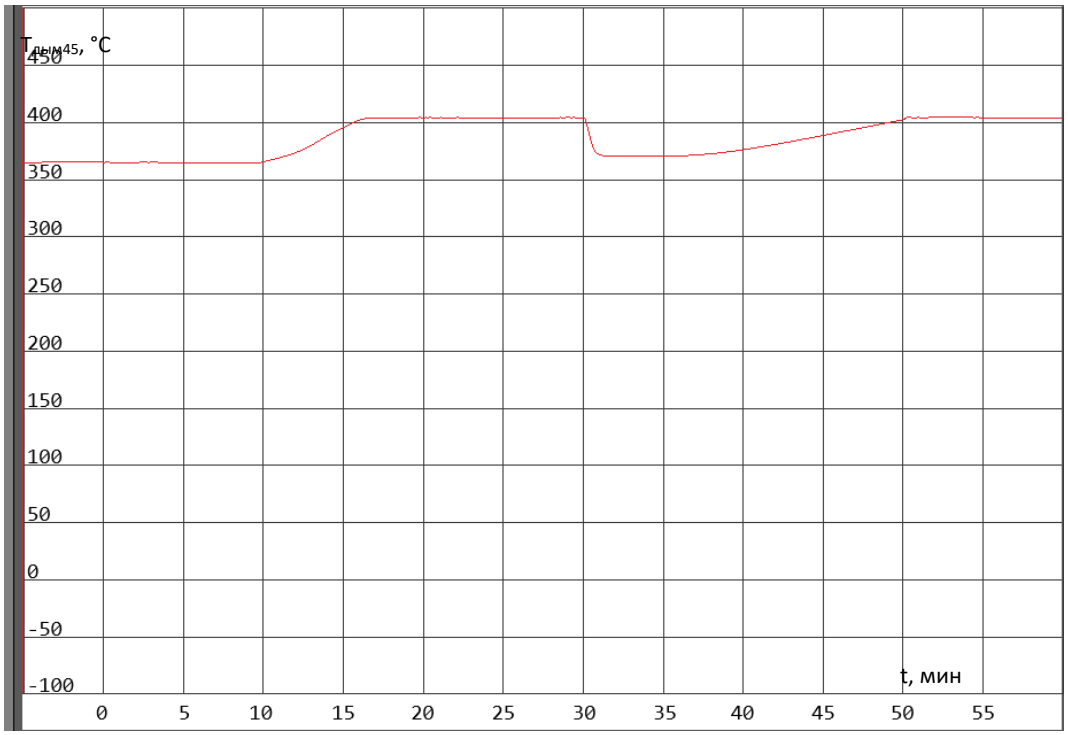


Рис. 5 – График изменения температуры дымового газа

Таким образом, разрабатываемая система позволит повысить точность поддержания давления в реформере, давления и температуры дымовых газов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОЭМК им А.А.Угарова процессы производства. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.metalloinvest.com/business/production_processes/ (дата обращения: 01.04.2026).

2. Технология металлизации окатышей MIDREX. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.midrex.com/midrex-process/ (дата обращения: 01.04.2026).

МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ РАБОТЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РОБОТОВ

Давыдов Д.А., студент 1 курса магистратуры
Научный руководитель – к.т.н., ст. преподаватель **Анпилов А.О.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Механизм параллельных роботов, представляет собой замкнутую систему с концевой оснасткой (или мобильной платформой) с более чем одной степенью свободы (DOF) и неподвижным основанием, соединенным независимыми кинематическими цепями (или ногами), каждая из которых состоит из звеньев и сочленений [1], [2].

Приведение в действие осуществляется при помощи приводов, размещенных в выбранных сочленениях. Параллельные механизмы распределяют нагрузку между приводами, демонстрируя чрезвычайно высокую грузоподъемность, точность, жесткость и способность работать с большими грузами [2].

На примере модели 3-RRR с тремя степенями свободы (3-DOF), конструкция параллельного робота выглядит следующим образом (1):

Вращательные R-сочленения прикреплены к основанию, а сферические S-сочленения прикреплены к подвижной платформе. Длины ног регулируются призматическими P-сочленениями. R-сочленения прикреплены к основанию, а S-сочленения прикреплены к подвижной платформе. Длины ног регулируются P-сочленениями [2].

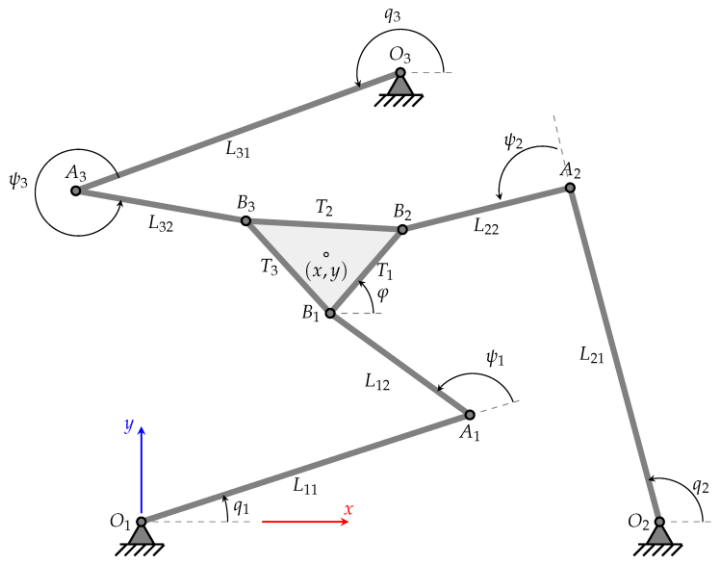


Рис. 1 – Схема параллельного робота 3-RRR

Точность действий робота определяется погрешностями позиционирования характеристической точки Tool Center Point (TCP) и погрешностями её угловой ориентации. Ошибки позиционирования обусловлены технологическими отклонениями размеров звеньев, люфтами в кинематических парах и механизмах приводов, деформациями звеньев (упругими, температурными и т. п), неточностями системы управления, сенсоров и т. п. [3]

Статические факторы возникновения погрешностей сохраняют постоянство на протяжении всего движения робота. В числе таких факторов [3]:

1. Геометрические погрешности. Возникают при изготовлении элементов и деталей механизма, а также ошибки сборки роботов (отклонения фактических размеров деталей, погрешности монтажа).

2. Погрешности, возникающие при воздействии внешних условий среды, (температура, влажность, электрические и электромагнитные помехи, вибрация, и т. д.).

3. Погрешности системы управления – ошибки, возникающие в алгоритмах управления или при разработке методов программирования: погрешности интерполяции, сервоприводов, измерительных элементов (датчиков) и т. д.

При моделировании геометрических погрешностей, обычно используются методы малого перемещения. При этом малые отклонения выражаются через вектор ошибок [4]:

$$\delta x = J\delta q \quad (1)$$

где J – Якобиан системы (функциональный определитель Якоби), создающий связь скоростей приводов с линейной и угловой скоростями платформы; δq – вектор возмущений, отражающий погрешности параметров, сказывающихся на точках крепления штанг, что приводит к искажению Якобиана, поскольку он напрямую определяется векторами, этих точек. Предполагается, что все перемещения настолько незначительны, что их допустимо считать линейными [4].

Ключевая задача заключается в построении модели, которая минимизирует рассогласование между измеренным положением платформы и вычисленным по модели [4].

После того как погрешности смоделированы, основной проблемой становится их компенсация – корректировка управляющего сигнала с учётом известной погрешности [4]:

$$q_{\text{корр}} = f^{-1}(x - \delta x) \quad (2)$$

где f^{-1} – обратная кинематическая модель исследуемого механизма, δx – вектор компенсации ошибок.

Точность работы параллельных роботов может быть обеспечена следующими способами [5]:

1. Структурный синтез – это определение наилучшей структуры робота с параллельной кинематикой, отвечающей заданным условиям. Структура механизма определяется взаимным расположением, типом или количеством раздвижных штанг, шарниров, приводов.

Основные подходы, используемые для решения задач структурного синтеза [5]:

1) Синтез на основе формул подвижности, с помощью которых определяется число звеньев, число, класс и порядок расположения кинематических пар параллельного робота.

2) Синтез на основе кинематических групп, то есть влияние разных структур на геометрические свойства механизма, с обязательным сохранением соответствующих групп движений в процессе синтеза.

3) Синтез на основе геометрии кинематических цепей. Данный подход позволяет выбирать структуру исходя из желательной формы объема рабочего пространства.

4) Синтез на основе кинематической геометрии. При выборе структуры робота учитываются геометрические условия (число степеней свободы, взаимное расположение) и параметры звеньев.

5) Реконфигурация. Изменение кинематических структур существующих цепей или соединении нескольких структур цепей, как правило, не более двух.

2. Параметрический синтез – это выбор оптимальных параметров робота, отвечающих заданным условиям. Критерии выбора часто конфликтуют: высокая точность уменьшает рабочее пространство, и наоборот, поэтому требуется компромиссное решение.

Основные подходы параметрического синтеза [5]:

1) Аппроксимационный метод. В качестве исходных данных используются промежуточные точки, задающие положения выходного звена в процессе движения. Для оценки необходимых размеров структуры использован коэффициент отношения объема робота к объему рабочей области.

2) Аппроксимационно-интернациональный метод. Основная идея метода заключается в рассмотрении нескольких точек, которые являются гранями некоторой объемной фигуры. Необходимо обеспечить вписывание этой фигуры в объем рабочего пространства заданного механизма.

3) Функциональные методы. В качестве исходных данных используются функции, задающие траектории движения выходного звена механизма, где используются различные математические аппараты: дифференциальная геометрия, линейчатая поверхность, теория плоских централ.

3. Для компенсации тепловых деформаций, Притшоу предложил использовать охлаждение, так как тепловая модель параллельного робота достаточно сложна. Селлгрен показал, что внутреннее охлаждение робота 6-UPS может уменьшить ошибку изменения длины опоры на 50% [5].

4. Применение более совершенных двигателей.

Наиболее подходящими для параллельных роботов являются два типа двигателей [5]:

1) Двигатели постоянного тока – имеют большую скорость вращения и просты в управлении. Однако, из-за их большой массы, мощность и вращающий момент на единицу массы очень малы, а также существуют проблемы, связанные с перегревом.

2) Шаговые двигатели – так как они открывают широкие возможности для их установки, если речь идет о малых перемещениях. Шаговые двигатели позволяют с высокой точностью преобразовывать цифровой электрический сигнал непосредственно в дискретные угловые перемещения (шаги) ротора, а с развитием микропроцессорной технологии, применение шаговых двигателей с каждым годом становиться все более распространённым.

Дальнейшие исследования могут направлены на разработке комплексной методики повышения точности параллельных роботов, объединяющей учёт геометрических отклонений, компенсацию температурных воздействий, люфта и т. п. Конечной целью является повышение точности работы параллельного манипулятора и позиционирования подвижной платформы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Deabs, F. R. Gomaa, K. Khader. Review article parallel robot / Journal of Engineering Science and Technology Review, Shebin Elkom, Menoufia University, Egypt, 2021. – 10–27 с.

2. X.-J. Liu , J. Wang. Parallel Kinematics. Type, Kinematics, and Optimal Design / New York, NY, USA: Springer, 2014. – 3–22 с.

3. Чжу Лянлян. Анализ причин погрешностей и методы повышения точности позиционирования роботов. Политехнический молодежный журнал, 2022, № 05(70). http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-05-797

4. Бородавченко Н. П. Моделирование и компенсация ошибок в механизмах параллельной структуры / НАУКА XXI ВЕКА: ВЫЗОВЫ, СТАНОВЛЕНИЕ, РАЗВИТИЕ. Международный центр научного партнерства "Новая Наука" – г. Петрозаводск, 2025

5. Гапоненко Е. В. Динамика управляемого движения робота-трипода с шестью степенями подвижности / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова – г. Белгород, 2014

О ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ РОБОТАМИ

Давыдов Д.А., студент 1 курса магистратуры
Научный руководитель – к. т.н., ст. преподаватель **Анпилов А.О.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ МИСИС)

Механизм параллельных роботов, представляет собой замкнутую систему с концевой оснасткой (или мобильной платформой) с более чем одной степенью свободы (DOF) и неподвижным основанием, соединенным независимыми кинематическими цепями (или ногами), каждая из которых состоит из звеньев и сочленений [1], [2].

Приведение в действие осуществляется при помощи приводов, размещенных в выбранных сочленениях. Параллельные механизмы распределяют нагрузку между приводами, демонстрируя чрезвычайно высокую грузоподъемность, точность, жесткость и способность работать с большими грузами [2].

Конструкция планарного параллельного 3-RRR робота выглядит следующим образом (Рис. 1).

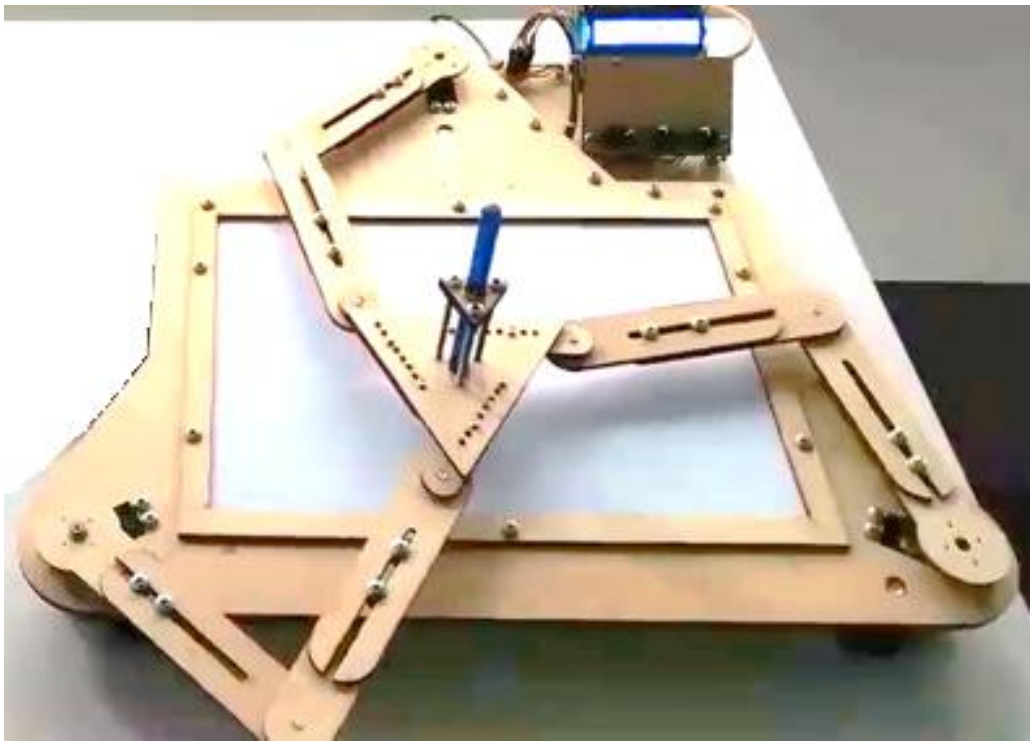


Рис. 1 – Конструкция параллельного 3-RRR робота

Параллельный 3-RRR робот состоит подвижной платформы, расположенной в центре, трёх штанг, каждая из которых состоит из двух частей. На каждой из штанг находится по три поворотных шарнира. Каждый из этих шарниров может быть с управляемым электроприводом. Концы штанг прикреплены через шарниры к неподвижному основанию.

Параллельные роботы имеют следующие достоинства: жесткость конструкции и точность позиционирования. Основным фактором, ограничивающим применение параллельных роботов в промышленности, является сложность управления ими.

Для управления положением подвижной платформы параллельного робота необходимо решить обратную задачу кинематики. По требуемым выходным координатам робота с помощью известных формул необходимо рассчитать его входные координаты. Для параллельного 3-RRR робота входными координатами являются углы поворотов его трёх

приводных шарниров. При этом теоретически должно достигаться соответствие положения подвижной платформы параллельного робота заданным выходным координатам.

Однако для точного позиционирования выходного звена механизма может оказаться недостаточно обеспечения расчетных значений входных координат. Ошибки позиционирования параллельных роботов могут возникать по следующим причинам:

- Погрешности датчиков, используемых для обратной связи контуров регулирования.
- Погрешности при расчете заданий для локальных контуров регулирования, вызванные неточностью определения параметров механизма при создании его математической модели.
- Геометрические погрешности, возникающие при изготовлении и монтаже робота, а также при его локальных повреждениях.
- Тепловые погрешности, вызванные деформацией элементов конструкции из-за изменения температуры окружающей среды.
- Динамические погрешности, определяемые упругими деформациями элементов робота.
- Погрешности, вызванные действием внешних сил таких как сила тяжести и силы сопротивления среды, например, обрабатываемой заготовки.
- Погрешность позиционирования центра подвижной платформы, вызванная погрешностями приводов штанг робота [3].

Для повышения точности управления параллельными роботами предлагается:

- разработать методику компенсации управления,
- разработать блок компенсации управления, содержащий модель машинного обучения,
- разработать алгоритм управления с компенсацией ошибок позиционирования параллельных роботов.

Будет проведена серия экспериментов для оптимизации данного алгоритма и проведено сравнительное моделирование при использовании различных методов машинного обучения. Для этого будет разработана математическая модель планарного параллельного робота с возможностью изменений геометрических параметров на примере 3<u>R</u>RR-робота.

Разработанный способ управления позволит повысить точность позиционирования параллельных роботов. Он будет универсальным, что даст возможность при необходимости адаптировать предлагаемые решения для управления параллельными роботами различных структур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Deabs, F. R. Gomaa, K. Khader. Review article parallel robot / Journal of Engineering Science and Technology Review, Shebin Elkom, Menoufia University, Egypt, 2021. – P. 10–27.
2. X.-J. Liu , J. Wang. Parallel Kinematics. Type, Kinematics, and Optimal Design / New York, NY, USA: Springer, 2014. – P. 3–22.
3. Гапоненко, Елена Владимировна. Динамика управляемого движения робота-трипода с шестью степенями подвижности : диссертация ... кандидата технических наук : 01.02.06 / Гапоненко Елена Владимировна – Белгород, 2014. – 219 с.

РАЗРАБОТКА ДАТАЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ СПОРТИВНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Данилов В. С., студент 4 курса
Научный руководитель – старший преподаватель **Лазарева Т.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Современная культура физического самосовершенствования представляет собой многоуровневое явление, объединяющее регулярные двигательные практики, продуманный рацион и общую поведенческую саморегуляцию. Основная цель такого подхода — достижение устойчивого физического тонуса, профилактика нарушений здоровья и повышение повседневного благополучия. Сегодня подобная деятельность уже не сводится лишь к механическому повторению движений, а становится индивидуализированной системой управления собственным телом и образом жизни [2].

На фоне активного внедрения информационных технологий во все сферы жизни меняются и привычные способы организации физической подготовки. Классическая схема, предполагающая привязку к тренажёрному залу, фиксированному расписанию и непосредственному контакту с инструктором, всё чаще соседствует с цифровыми решениями, а иногда и полностью заменяется ими [3]. Такая трансформация требует детального анализа и сопоставления эффективности разных форматов предоставления услуг в области физической активности. Для автоматизации этого процесса необходимо структурированное хранение данных о пользователях, упражнениях, тренировочных сессиях и доступном оборудовании, что и обусловливает разработку соответствующей базы данных [1].

Для реализации базы данных спортивного приложения была выбрана СУБД Microsoft SQL Server. Этот выбор обусловлен необходимостью обеспечения надёжности, производительности и поддержки сложной бизнес-логики на стороне сервера [1]. На основе инфологической модели разработана даталогическая модель, отражающая физическую структуру хранения данных. На рисунке 1 представлена ER-диаграмма, созданная в среде SQL Server Management Studio. Microsoft SQL Server выбран благодаря сочетанию производительности, надёжности и встроенных средств безопасности, критически важных для спортивного приложения. Он обеспечивает поддержку ACID-транзакций, что гарантирует сохранность истории тренировок и персональных данных даже при сбоях. Оптимизатор запросов и механизмы индексации позволяют быстро выполнять сложные выборки.

Важным преимуществом является возможность реализовать часть бизнес-логики на стороне сервера: хранимые процедуры могут автоматически вычислять рекомендуемый вес, триггеры — обновлять дату изменения профиля, а ограничения целостности — предотвращать дублирование логинов. Встроенное шифрование и управление доступом на основе ролей соответствуют требованию разграничения прав.

К недостаткам можно отнести платность коммерческих редакций и традиционную привязку к Windows (хотя современные версии работают и на Linux). Однако на этапе разработки и для небольших проектов доступна бесплатная Express Edition с ограничением до 10 ГБ, чего достаточно для начального наполнения базы. Таким образом, выбранная СУБД закрывает все функциональные требования при допустимых затратах.

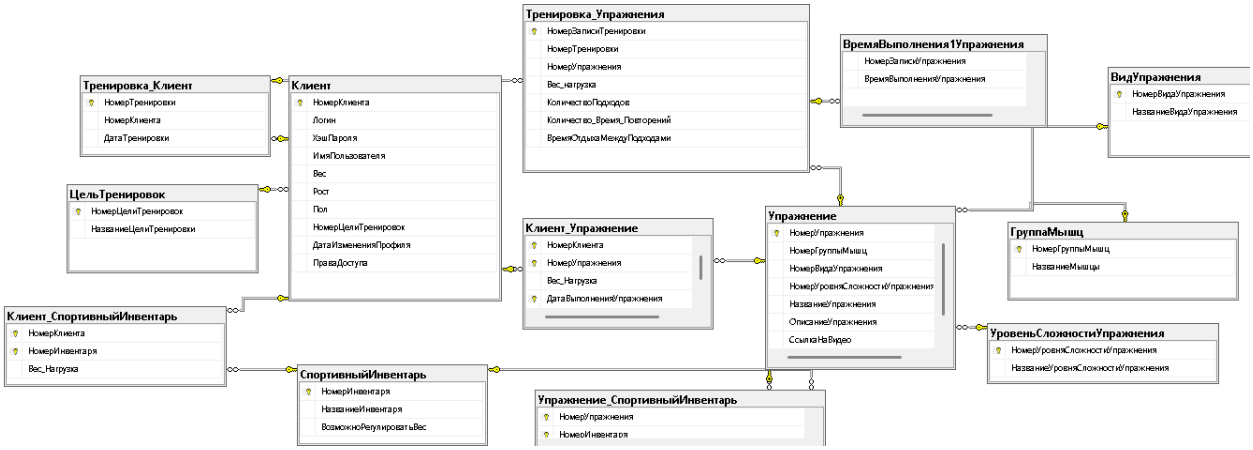


Рис. 3 – Даталогическая модель базы данных

Центральной сущностью системы является таблица «Клиент» (таблица 1), которая хранит учётные данные пользователя, его антропометрические показатели и цель тренировок. Поле «НомерКлиента» определено как первичный ключ, что гарантирует уникальность каждой записи [2]. Поле «Логин» имеет ограничение уникальности для предотвращения дублирования учётных записей. Внешний ключ «НомерЦелиТренировок» связывает таблицу со справочником целей.

Таблица 1 – Структура таблицы «Клиент»

Атрибут	Тип данных	Размер/Точность	Описание
НомерКлиента (PK)	INT	–	Идентификатор клиента
Логин	NVARCHAR	50	Уникальный логин
ХэшПароля	NVARCHAR	255	Хэшированный пароль
ИмяПользователя	NVARCHAR	100	ФИО или псевдоним
Вес	DECIMAL	5,2	Вес в кг
Рост	INT	–	Рост в см
Пол	CHAR	1	«М» или «Ж»
НомерЦелиТренировок (FK)	INT	–	Цель тренировок
ДатаИзмененияПрофиля	DATETIME	–	Дата последнего изменения
ПраваДоступа	NVARCHAR	50	Уровень прав

Для хранения справочной информации об упражнениях предназначена таблица «Упражнение» (таблица 2). Она содержит название, текстовое описание техники выполнения и ссылку на видеоинструкцию. Внешние ключи ссылаются на таблицы «ГруппаМышц», «ВидУпражнения» и «УровеньСложностиУпражнения», что обеспечивает нормализацию и устраняет избыточность [1].

Таблица 2 – Структура таблицы «Упражнение»

Атрибут	Тип данных	Размер/Точность	Описание
НомерУпражнения (PK)	INT	–	Идентификатор упражнения
НомерГруппыМышц (FK)	INT	–	Целевая группа мышц
НомерВидаУпражнения (FK)	INT	–	Вид упражнения
НомерУровняСложности (FK)	INT	–	Уровень сложности

Атрибут	Тип данных	Размер/Точность	Описание
НазваниеУпражнения	NVARCHAR	200	Наименование
ОписаниеУпражнения	NVARCHAR	MAX	Техника выполнения
ССылкаНаВидео	NVARCHAR	500	URL видео

Тренировочный процесс фиксируется в двух связанных таблицах. Таблица «Тренировка_Клиент» (таблица 3) хранит информацию о проведённых тренировочных сессиях: дату и ссылку на клиента. Детали каждой тренировки (какие упражнения выполнялись, с каким весом, количеством подходов и повторений) содержатся в таблице «Тренировка_Упражнения» (таблица 4). Такая декомпозиция соответствует требованиям второй нормальной формы и позволяет гибко анализировать историю тренировок [2].

Таблица 3 – Структура таблицы «Тренировка_Клиент»

Атрибут	Тип данных	Описание
НомерТренировки (PK)	INT	Идентификатор тренировочной сессии
НомерКлиента (FK)	INT	Ссылка на клиента
ДатаТренировки	DATE	Дата проведения

Таблица 4 – Структура таблицы «Тренировка_Упражнения»

Атрибут	Тип данных	Размер/Точность	Описание
НомерЗаписиТренировки (PK)	INT	–	Идентификатор записи
НомерТренировки (FK)	INT	–	Ссылка на сессию
НомерУпражнения (FK)	INT	–	Ссылка на упражнение
Вес_нагрузка	DECIMAL	5,2	Плановый вес
КоличествоПодходов	DECIMAL	5,2	Число подходов
Количество_ВремяПовторений	DECIMAL	5,2	Повторения или время
ВремяОтдыхаМеждуПодходами	TIME	–	Отдых между подходами

Для учёта доступного пользователю спортивного инвентаря служат таблицы «СпортивныйИнвентарь» (справочник) и «Клиент_СпортивныйИнвентарь» (связующая). Вторая таблица (таблица 5) позволяет указать, каким именно весом/нагрузкой располагает клиент для каждого типа оборудования. Это необходимо для алгоритмов адаптивного планирования [3].

Таблица 5 – Структура таблицы «Клиент_СпортивныйИнвентарь»

Атрибут	Тип данных	Описание
НомерКлиента (FK)	INT	Ссылка на клиента
НомерИнвентаря (FK)	INT	Ссылка на инвентарь
Вес_Нагрузка	DECIMAL (5,2)	Доступный вес/нагрузка

Все отношения базы данных приведены к третьей нормальной форме (3НФ): отсутствуют повторяющиеся группы атрибутов, все значения атомарны, неключевые атрибуты полностью зависят от первичного ключа, транзитивные зависимости устранены [2]. Это обеспечивает минимальную избыточность и целостность данных, что является основой для корректной работы алгоритмов адаптивного планирования тренировок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. – 8-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1328 с.

2. Коннолли Т., Бегг К. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2003. – 1440 с.
3. Microsoft. Документация по Microsoft SQL Server [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.microsoft.com/ru-ru/sql/sql-server/, свободный.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЗУМПФА ДЛЯ ГИДРОЦИКЛОННОЙ УСТАНОВКИ ГЦ-500

Деминова А.С., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Кривоносов В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Объектом автоматизации выступает узел классификации гидроциклонной установки. Технологический процесс в данном узле является частью многостадийной схемы переработки, включающей измельчение, классификацию и магнитную сепарацию. Гидроциклонная установка осуществляет классификацию промпродукта (пульпы) для последующего направления либо на стадию доизмельчения, либо на операцию обесшламливания.

Промпродукт после первой или второй стадии магнитной сепарации поступает в технологический зумпф, который представляет собой специальную емкость для водно-рудной смеси объемом до 100 м^3. Из зумпфа гравийными насосами пульпа подается на батарею гидроциклонов ГЦ-500 для разделения на пески и слив.

В рамках данной работы будет выполнено моделирование контура стабилизации уровня в зумпфе для гидроциклонной установки ГЦ-500.

Функциональная схема контура стабилизации уровня в технологическом зумпфе представлена на рисунке 1.

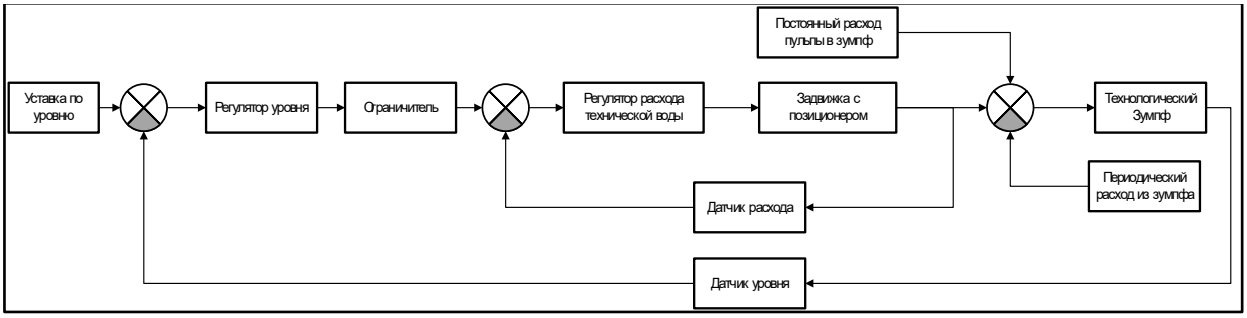


Рис. 4 – Функциональная схема контура стабилизации уровня

Выполним математическое моделирование контура, начиная с уравнения баланса. Основой любой модели емкости является уравнения материального баланса:

$$\boxed{dV = Q_{in} - Q_{out}}, \quad (1)$$

где dV – это изменение объема, м^3; Q_{in} – это приток в некоторый резервуар, м^3; Q_{out} – это сток из некоторого резервуара, м^3. Зумпф имеет постоянную по высоте площадь поперечного сечения, поэтому его объем можно вычислить произведением высоты резервуара, на площадь сечения. В контексте уравнения баланса (1) можно рассматривать левую часть следующим образом:

$$\boxed{dV = S \cdot dH}, \quad (2)$$

где S – это постоянная площадь поперечного сечения резервуара, м^2; dH – это изменение по высоте, связанное с изменением объема, м. Подставим (2) в (1) и получим следующее уравнение материального баланса:

$$\boxed{S \cdot dH = Q_{in} - Q_{out}} \quad (3)$$

Выполним переход к динамическим характеристикам [1], предположив, что S – является постоянным во времени, а остальные параметры зависят от него. Таким образом, получим дифференциальное уравнение первого порядка:

$$S \cdot \frac{\partial H(t)}{\partial t} = Q_{in}(t) - Q_{out}(t) \tag{4}$$

Дифференциальное уравнение (4) описывает объект управления в моделируемом контуре. Для упрощения анализа, рассмотрим изменения, высоты жидкости в зумпфе относительно некоторой точки равновесия. Выполним линеаризацию следующего вида [1]:

$$\begin{cases} q_{in}(t) = Q_{in}(t) - Q_{in0}(t) \\ q_{out}(t) = Q_{out}(t) - Q_{out0}(t) \\ h(t) = H(t) - H_0 \end{cases} \tag{5}$$

Уравнение материального баланса (4) в отклонениях (5) приобретает следующий вид:

$$S \cdot \frac{\partial h(t)}{\partial t} = q_{in}(t) - q_{out}(t) \tag{6}$$

Выполним преобразования Лапласа, переходя в операторную форму:

$$S \cdot s \cdot h(s) = q_{in}(s) - q_{out}(s) \tag{7}$$

где s – переменная преобразования Лапласа.

Преобразуем уравнение (7) к следующему виду:

$$s \cdot h(s) = \frac{1}{S} \cdot \left(q_{in}(s) - q_{out}(s)\right) \tag{8}$$

Уравнение (8) представляет собой интегральное звено следующего вида:

$$W(s) = \frac{K_{ОУ}}{s}, \tag{9}$$

где $K_{ОУ}$ – это коэффициент усиления объекта управления, который, согласно уравнению (8), определяется следующим образом:

$$K_{ОУ} = \frac{1}{S} \tag{10}$$

Подставив паспортные значения резервуара, получаем следующую модель объекта:

$$K_{\text{ОУ}} = \frac{1}{25} = 0.04$$

$$K_{\text{ОУ}} = 0.04 \text{ м}^{-2}$$

$$W(s) = \frac{0.04}{s} \tag{11}$$

Исполнительным механизмом в данном контуре выступает задвижка с позиционером. Передаточное звено ИМ может быть описано апериодическим звеном первого порядка:

$$W_{ИМ}(s) = \frac{K_{ИМ}}{T_{ИМ} \cdot s + 1} \tag{12}$$

Определить коэффициент усиления ИМ можно при помощи следующего уравнения:

$$K_{ИМ} = K_{Поз} \cdot K_{Здв}, \tag{13}$$

где $K_{Поз}$ – это собственный коэффициент усиления позиционера; $K_{Здв}$ – это коэффициент усиления задвижки. Позиционер получает на вход сигнал от 0 до 100 % открытия задвижки, после чего этот сигнал масштабируется до максимального объемного расхода, создаваемого задвижкой технической воды. Известно, что максимальный расход составляет 6 м^3/ч. Найдем собственные коэффициенты усиления составных частей ИМ:

$$\boxed{\begin{aligned} K_{Поз} &= \frac{100\%}{100\%} = 1 \\ K_{Здв} &= \frac{6\ м^3/ч}{100\%} = 0.06\ \frac{м^3/ч}{\%} \end{aligned}}$$

Постоянная времени ИМ также находится, как произведение инерционных компонентов составляющих ИМ:

$$\boxed{T_{ИМ} = T_{Поз} \cdot T_{Здв}}, \tag{14}$$

где $T_{Поз}$ – это постоянная времени позиционера, мин; $T_{Здв}$ – это постоянная времени задвижки, мин. Известно, что позиционер полностью открывает задвижку за 30 секунд. При этом, сама задвижка жестко закреплена на валу электродвигателя позиционера, таким образом её инерцией можно пренебречь. В результате, инерция ИМ – это инерция позиционера, соответствующая постоянной времени 10 секунд (0,167 мин). Получим модель ИМ в операторном виде:

$$W_{ИМ}(s) = \frac{0.06}{0.167 \cdot s + 1} \tag{15}$$

На основании модели (1) – (15) была получена следующая структурная схема моделируемого контура в MATLAB, представленная на рисунке 2.

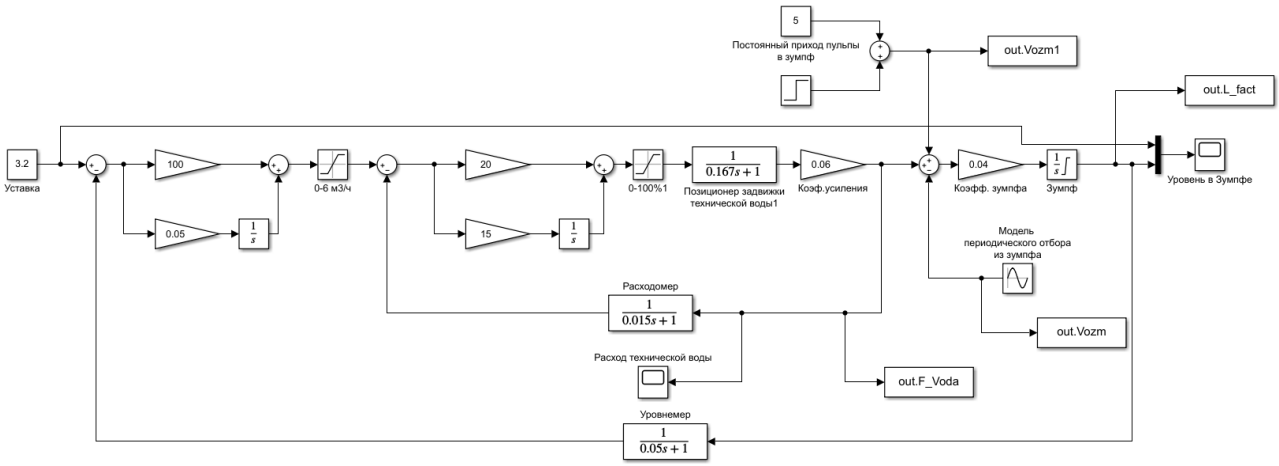


Рис. 5 – Структурная схема контура стабилизации уровня

В качестве регуляторов, использовались ПИ-регуляторы, реализующие следующий закон управления:

$$\boxed{u(t) = Kp \cdot e(t) + Ki \cdot \int_0^t e(t)dt}, \tag{16}$$

где $u(t)$ – это сигнал управления; $e(t)$ – это рассогласование, определенное, как невязка между уставкой и фактическим значениям регулируемой величины; K_p – это коэффициент усиления пропорциональной части регулятора; K_i – это коэффициент усиления интегральной части регулятора.

В результате моделирования в среде SIMULINK был получен график переходного процесса стабилизации уровня (рис.3). Контур работал в режиме подавления внешних возмущений. В частности, моделировалось внешнее возмущение по отбору из зумпфа при помощи синусоидальной периодической функции следующего вида (рис.4). Как можно заметить на графике переходного процесса, данный сигнал успешно подавляется. Кроме этого, моделировалось также внешнее возмущение по расходу в зумпф, при помощи ступенчатой функции (рис.5). Данное внешнее возмущение также было успешно подавлено контуром. Реакцию системы на внешние возмущения можно проследить по графику изменения расхода технической воды (рис.6).

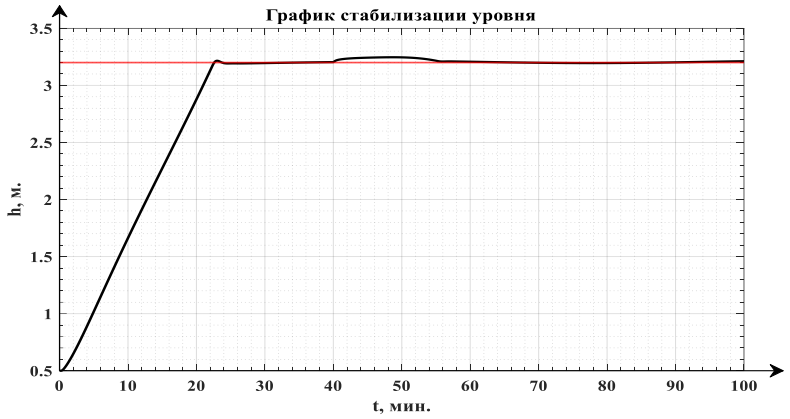


Рис. 6 – График переходного процесса стабилизации уровня

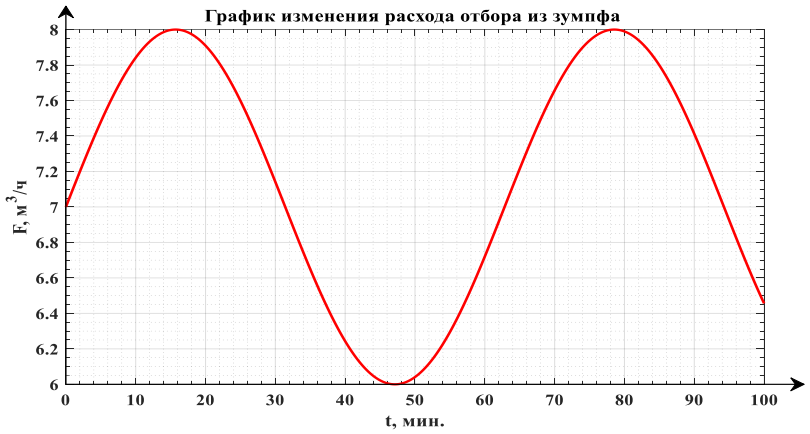


Рис. 7 – Сигнал возмущения по отбору пульпы из зумпфа

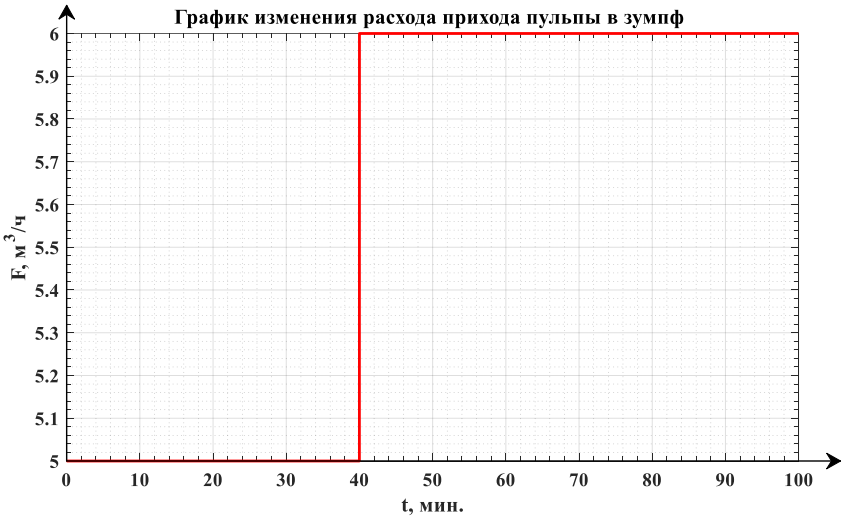


Рис. 8 – Изменение расхода поступающей в зумпф пульпы

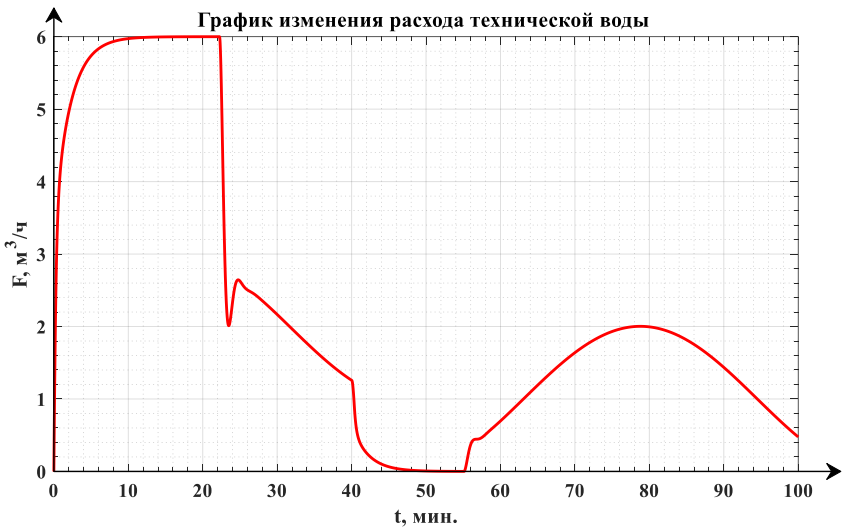


Рис. 9 – График изменения расхода технической воды, подаваемой для стабилизации уровня

В результате моделирования были получены следующие оптимальные значения коэффициентов регуляторов:

1. Регулятор уровня: *Kp*=100, *Ki*=0.05;
2. Регулятор расхода технической воды: *Kp*=20, *Ki*=15.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ким, Д. П. Теория автоматического управления: учебник и практикум для вузов: в 2 т. Том 1. Линейные системы / Д. П. Ким. — 3-е изд., испр. и доп. — М: Юрайт, 2024. — 327 с. — ISBN 978-5-534-18012-7. – текст: непосредственный.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА КВ-ГМ-100 КЖМ ОАО «ТЕПЛОЭНЕРГО»

Дмитриев Е.А., студент 4 курса
Научный руководитель - – к.т.н., доцент **Кривоносов В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В данной работе рассматривается построение системы автоматического управления (САУ) температурой воды к потребителю от котла КВ-ГМ-100.

Поддержание правильной и стабильной температуры для котельного оборудования является важной задачей как для самого объекта управления, так и для потребителя, который пользуется результатом работы котла. Следовательно, возникает необходимость предварительной проверки проектных решений при помощи математической модели.

Спроектированная функциональная схема САУ температурой воды на выходе котла представлена на рисунке 1.

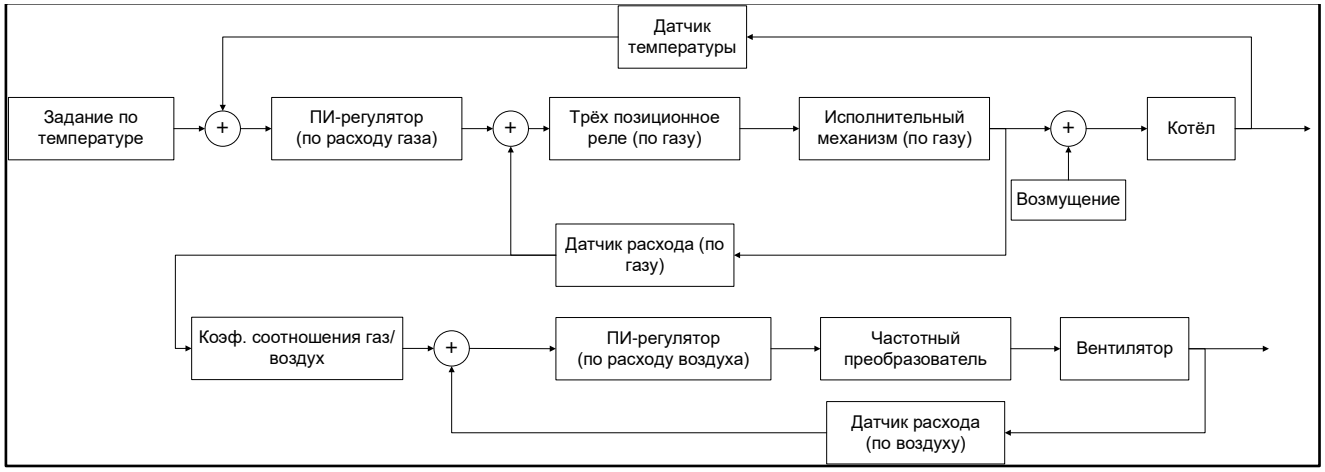


Рис. 1 – Функциональная схема САУ температурой воды на выходе котла

В качестве объекта управления выступает отопительный котельный агрегат, входом которого является значение расхода газа, идущего на горение, а выходом значение температуры воды, поступающей в сеть. Будем моделировать объект апериодическим звеном первого порядка.

$$W_{\text{Оу}}(S) = \frac{k_{\text{Оу}}}{T_{\text{Оу}} \cdot S + 1} \quad (1)$$

Для расчёта коэффициента усиления нам необходимо найти отношение входа и выхода описываемой модели в установившемся режиме. Проанализировав предоставленные производством документы и технический регламент, а также получив информацию от работников предприятия стало известно, что максимально возможная температура, которую способен выдавать котёл составляет не более 150 градусов Цельсия, при это расход природного газа будет равняться 20 $м^3$/мин. Данные значения являются экстремальными и при функционировании объекта управления подобные показатели не допустимы, но для расчёта коэффициента усиления они подходят.

Вычисление коэффициента усиления будет производиться следующим образом.

$$k_{\text{Оу}} = \frac{P_{\text{тем}}}{G_{\text{газ}}} \quad (2)$$

Подставив известные нам значения в вышеописанную формулу, получим:

$$k_{\text{Оу}} = \frac{150}{20} = 7{,}5;$$

Для расчёта постоянной времени нам необходимо рассчитать отношение времени, за которое объект выходит на задание к числу от 3 до 5. Приняв усреднённое значение, получим формулу (3).

$$T_{\text{ОУ}} = \frac{1}{4} \cdot t_{\text{п.п.}} \quad (3)$$

Зная примерное время, за которое объект выходит на задание, а это 64 минуты, получим:

$$T_{\text{ОУ}} = \frac{1}{4} \cdot 64;$$

$$T_{\text{ОУ}} = 16 \text{ мин}$$

В результате модель звена, описывающая объект управления, примет следующий вид.

$$W_{\text{ОУ}}(S) = \frac{7{,}5}{16 \cdot S + 1}$$

Следующим рассмотренным элементом функциональной схемы является модель механизма привода задвижки МЭО. Зная принцип работы задвижки, опишем её работу с помощью интегрального звена в соответствии с формулой (4)

$$W_{\text{г.з.}}(S) = \frac{k_{\text{г.з.}}}{T_{\text{г.з.}} \cdot S} \quad (4)$$

Коэффициент усиления для данной функции будет равен степени максимального открытия, зная это примем значение равным 100. Постоянную времени же возьмём из паспортных данных реального механизма, равным 1,05 минуты.

Соответственно формула примет следующий вид.

$$W_{\text{г.з.}}(S) = \frac{100}{1{,}05 \cdot S}$$

Зная, что входом модели задвижки является её степень открытия в процентах, а выходом является расход газа, произведём пересчёт процента открытия задвижки в реальный расход газа согласно формуле (5)

$$k_{\text{р.г.}} = \frac{21{,}5}{100} = 0{,}215; \quad (5)$$

Для описания передаточной функции модели датчика расхода воспользуемся апериодическим звеном первого порядка с коэффициентом усиления равным одному, согласно формуле (6).

$$W_{\text{д.г.}}(S) = \frac{1}{T_{\text{д.г.}} \cdot S + 1} \quad (6)$$

Постоянная времени для датчиков расхода крайне мала и поэтому приняв её за заведомо малое число равное 0,01 минуты, получим следующую формулу:

$$W_{\text{д.г.}}(S) = \frac{1}{0{,}01 \cdot S + 1}$$

Для описания частотного преобразователя, который обеспечивает изменение частоты питающего напряжения и производит управление вентилятором по воздуху, возьмём апериодическое звено первого порядка в соответствии с формулой (7).

$$W_{\text{пч}}(S) = \frac{k_{\text{пч}}}{T_{\text{пч}} \cdot S + 1} \quad (7)$$

Для расчёта коэффициента усиления выполним расчёт отношения максимальной частоты питающего напряжения к максимальному токовому сигналу в соответствии с формулой (8).

$$k_{\text{пч.}} = \frac{f_{max.}}{I_{max.}} = \frac{50}{20} = 2.5 \quad (8)$$

В качестве значения постоянной времени примем значение равное 0,03, а следовательно, получим итоговый вид передаточной функции для частотного преобразователя:

$$W_{\text{пч}}(S) = \frac{2{,}5}{0{,}03 \cdot S + 1}$$

Для звена, описывающего сам вентилятор по воздуху, также возьмём апериодическое звено первого порядка согласно формуле (9).

$$W_{\text{в}}(S) = \frac{k_{\text{в}}}{T_{\text{в}} \cdot S+1} \quad (9)$$

Для расчёта коэффициента усиления выполним расчёт отношения максимального расхода воздуха, создаваемого вентиляционной установкой, к максимальной частоте питающего напряжения в соответствии с формулой (10).

$$k_{\text{д}} = \frac{F_{max}}{f_{max}} = \frac{300}{50} = 6 \quad (10)$$

Постоянную же времени примем равной одно десятой минуты. Следовательно итоговый вид передаточной функции будет иметь вид согласно формуле (11).

$$W_{\text{в}}(S) = \frac{6}{0{,}1 \cdot S+1} \quad (11)$$

Для описания передаточной функции звена датчика расхода воздуха воспользуемся апериодическим звеном первого порядка с коэффициентом усиления равным одному, согласно формуле (12).

$$W_{\text{д.в.}}(S) = \frac{1}{T_{\text{д.в.}} \cdot S+1} \quad (12)$$

Постоянная времени для датчиков расхода крайне мала и поэтому приняв её за заведомо малое число равное 0,01 минуты, получим следующую формулу:

$$W_{\text{в.г.}}(S) = \frac{1}{0{,}01 \cdot S+1}$$

Для описания передаточной функции звена датчика температуры отходящей воды воспользуемся апериодическим звеном первого порядка с коэффициентом усиления равным одному, согласно формуле (13).

$$W_{\text{т.}}(S) = \frac{1}{T_{\text{т.}} \cdot S+1} \quad (13)$$

Постоянная времени для датчика температуры примем равной 0,1 минуты, следовательно получим:

$$W_{\text{т.}}(S) = \frac{1}{0{,}1 \cdot S+1}$$

Реализация математической модели была произведена в пакете прикладных программ «Matlab» в среде «Simulink». В данной среде можно моделировать математические модели разной сложности используя широкий набор математических операторов. Математическая модель САУ температурой воды на выходе котла представлена на рисунке 2.

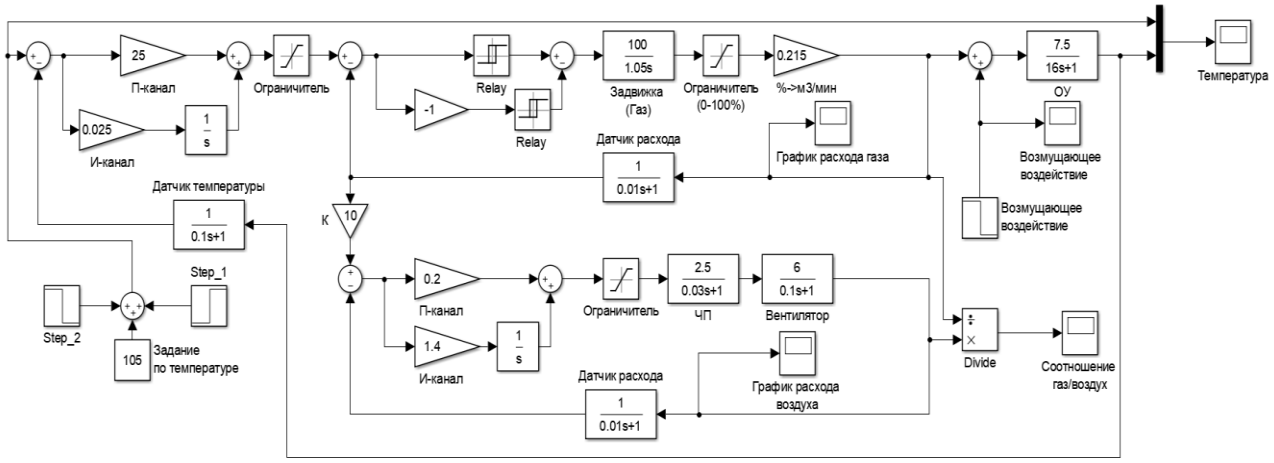


Рис. 2 – Математическая модель САУ температурой воды на выходе котла

График изменения температуры воды на выходе котла представлен на рисунке 3.

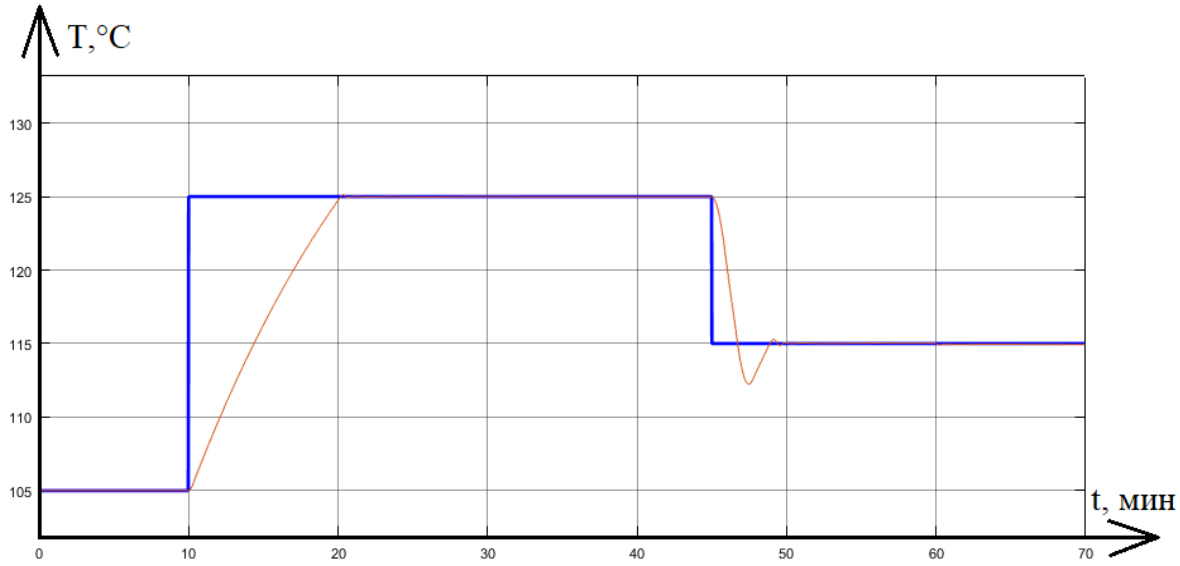


Рис. 3 – Переходный процесс по температуре

График изменения расхода газа представлен на рисунке 4.

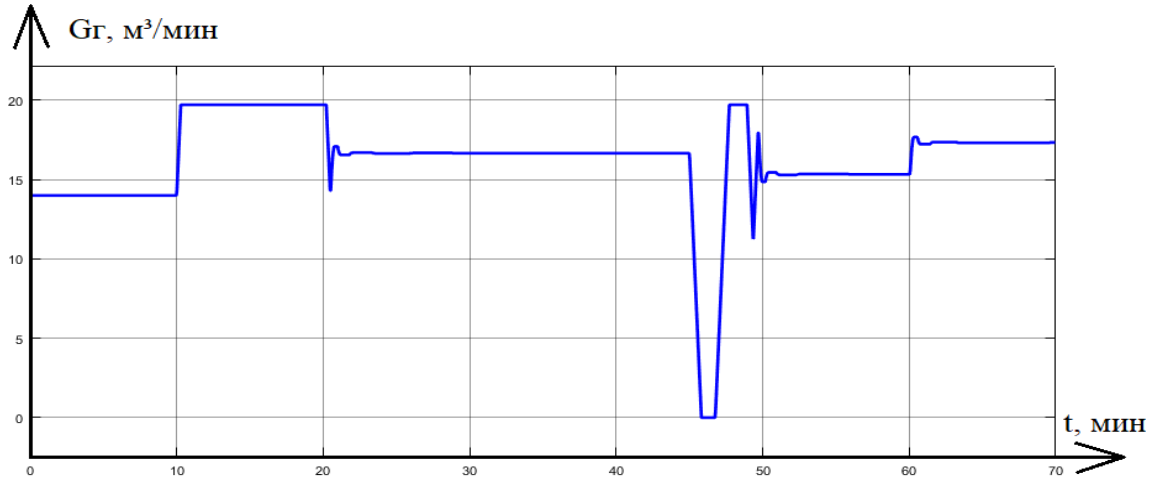


Рис. 4 – Переходный процесс расхода газа

График изменения расхода воздуха представлен на рисунке 5.

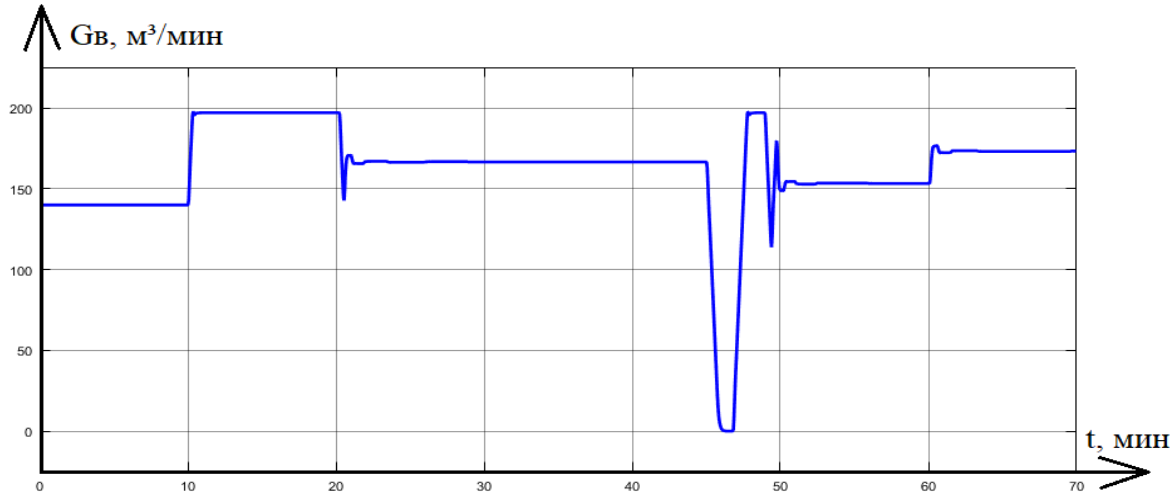


Рис.5 – Переходный процесс по расходу воздуха

Анализируя переходные процессы по расходу газа, расходу воздуха и по температуре видно, что система достаточно быстро выходит на задание. При этом наблюдается малое перерегулирование, что не сильно влияет на технологический результат работы объекта. Статическая ошибка при выходе объекта на задание полностью отсутствует. На 60 минуте имитировалось действие возмущения. Система отреагировала резким ростом увеличения подачи газа и воздуха, что позволило избежать просадки по температуре. Резюмируя качество работы спроектированной системы, можно заключить, что она корректно воспроизводит поведение реального объекта, быстро и точно реагирует на изменение задания и устойчива к внешним возмущениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брюханов, О.Н. Газифицированные котельные агрегаты [Текст] : учебник для СПО / О.Н. Брюханов, В.А. Кузнецов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : ИНФРА-М, 2026. — 392 с. — ISBN 978-5-16-014787-1 .
2. Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике [Текст] : учебник для вузов / Г.П. Плетнев. – 4-е изд., стереотип. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016. – 352 с.
3. Соколов, Б.А. Котельные установки и их эксплуатация [Текст] : учебник для учреждений сред. проф. образования / Б.А. Соколов. – 7-е изд., стер. – М.: ИЦ Академия, 2018. – 368 с.

ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АЭП НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ «МЫТНЫЙ ДВОР» В Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Долгих Г.Н., студент 4 курса бакалавриата
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Молодых А.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В данной статье рассматривается выбор оборудования и системы управления АЭП центробежных насосов второго подъема при реконструкции объекта культурного наследия «мытный двор», г. Санкт-Петербург, с приспособлением для современного использования под многоквартирный жилой дом.

Задача состоит в том, чтобы подобрать доступное и качественное оборудование в сегодняшних реалиях для объекта культурного наследия с целью современного использования под многоквартирный жилой дом со встроенными помещениями общественного назначения.

Насосная станция второго подъема включает в себя 2 центробежных насоса Wellmix CV 5-9 и шкаф управления с двумя преобразователями частоты (рисунок 1).

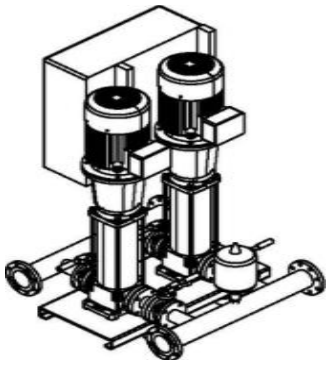


Рис. 1 – Общий вид насосной станции на центробежных насосах Wellmix CV 5-9

Рабочие характеристики насоса представлены на рисунках 2-3.

На основании данных о напоре и расходе насосов для хозяйственно-питьевого водоснабжения жилой части здания было решено, что можно оставить существующие двигатели, а преобразователи частоты заменить на доступные и качественные в сегодняшних реалиях.

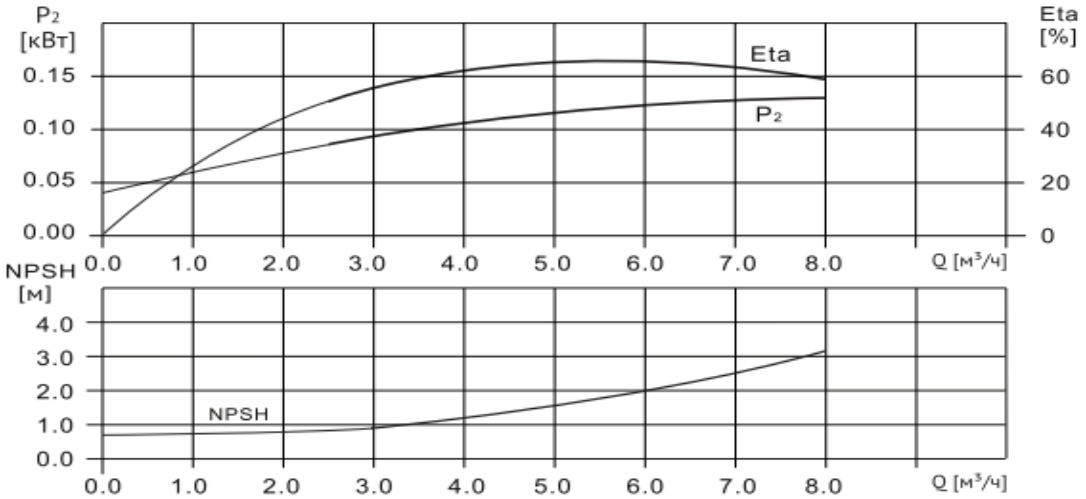


Рис. 2 – Рабочие характеристики насоса Wellmix CV 5-9

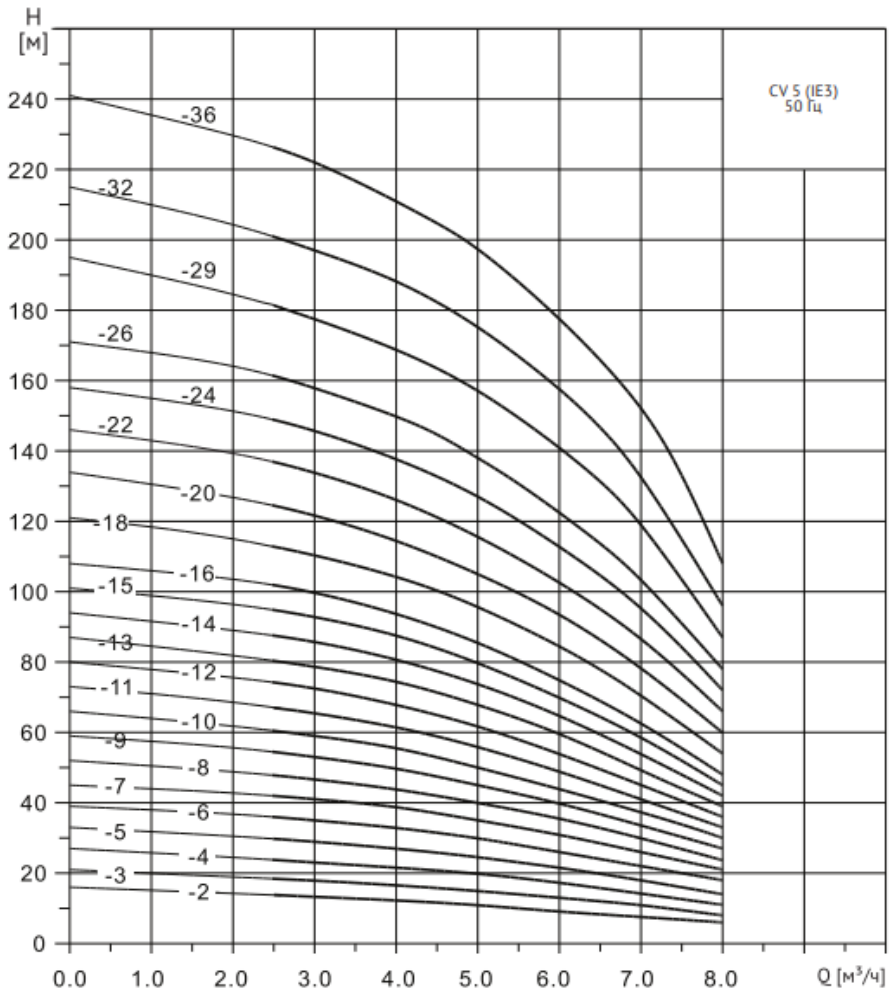


Рис. 3 – Рабочие характеристики насоса Wellmix CV 5-9 (зависимость напора от производительности).

Было решено, что существующее скалярное управление асинхронными двигателями насосов, вполне может быть применено в новом оборудовании.

Управление асинхронным электродвигателем по принципу скалярного управления заключается в регулировании параметров напряжения U и частоты f. Для достижения необходимого закона регулирования требуется использовать соответствующий закон управления (1).

$$\boxed{\frac{U}{f^2}}, \qquad (1)$$

При работе с насосом, требующим постепенного увеличения давления, можно использовать простой метод скалярного регулирования, несмотря на его некоторые недостатки, такие как сложности в управлении моментом асинхронного электродвигателя в динамическом режиме.

При скалярном управлении АД поддерживается постоянное отношение напряжения и частоты во всем диапазоне скоростей, что гарантирует сохранение постоянного критического момента, который не зависит от частоты напряжения.

Воспользуемся программным обеспечением Matlab SimPower Simulink, а именно моделью AC2 – Space Vector PWM (модель электропривода со скалярной системой управления с пространственно-векторной модуляцией). Система (рисунок 5) состоит из силовой части: трехфазного мостового диодного моста (Three-phase diode rectifier), инвертора напряжения (Three-phase Inverter) и фильтра в виде емкости в звене постоянного тока.

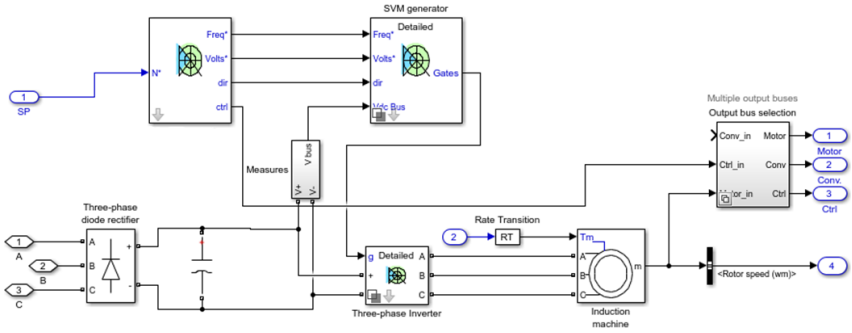


Рис. 5 – Модель асинхронного привода со скалярной системой управлением

Смоделировав систему, представленную на рисунке 4, были получены графики переходных процессов по электромагнитному моменту, току статора, скорость ротора (рисунок 6).

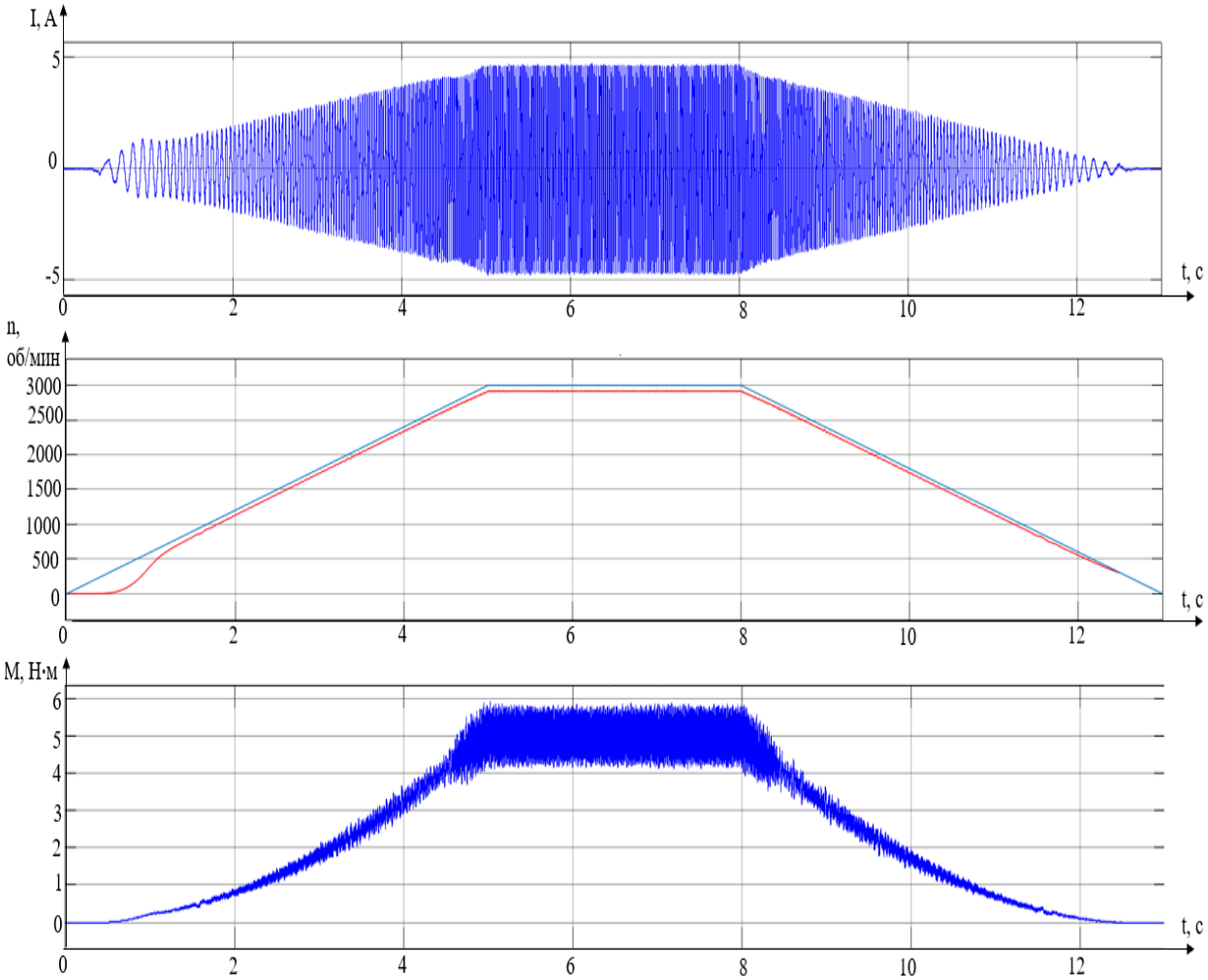


Рис. 6 – Графики двигателя характеризующие следующие параметры при работе: ток статора; скорость ротора; электромагнитный момент

Вывод: результаты моделирования доказывают, что подбор оборудования системы управления произведен верно и удовлетворяет всем требованиям к электроприводу насосной станции водоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, Н. Н. Водоснабжение. Учебник для вузов. / Н. Н. Абрамов [Электронный ресурс] - режим доступа - https://djvu.online/file/3koJSDBmoqRv0 (дата обращения: 7.04.2026).

2. Ключев, В. И., Теория электропривода: Учебник для вузов. / В.И. Ключев – [Электронный ресурс] - режим доступа - https://www.elec.ru/library/nauchnaya-i-tehnicheskaya-literatura/teoriya-elektroprivoda-klyuchev/ (дата обращения: 6.04.2026).

«ПРИЗРАКИ В МАШИНЕ»: ЭТНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО АНИМИЗМА И АГЕНТНОСТИ НЕЧЕЛОВЕЧЕСКИХ СУЩНОСТЕЙ В УМНОМ ДОМЕ

Должикова Д.Е., студент 2 курса
Научный руководитель – к.ф.н., доцент **Канныкин С.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Исследования взаимодействия людей и искусственных интеллектуальных систем становится важной частью научных исследований, потому что такие взаимодействия ключевым образом изменяют нашу повседневность и наши представления о границах человеческого. Буквально 70 лет назад человечество даже не могло представить, до какой стадии развития дойдут технологии, «коробочка», позволяющая общаться с людьми на расстоянии, фотографировать окружающий мир, находить любую информацию, которая только придёт в голову, это было что-то за гранью фантастики. А мы, на сегодняшний день, живя в XXI веке, не можем вообразить жизнь без использования смартфонов, компьютеров, искусственного интеллекта и других средств, так как эти устройства и технологии стали неотъемлемой частью нашей жизни. По мере того как наши дома наполняются «умными» устройствами – от голосовых ассистентов до интеллектуальных термостатов – меняется наше восприятие технологий. Пользователи часто наделяют эти устройства человеческими качествами, намерениями и даже характером, что приводит к возникновению нового культурного феномена, который можно назвать цифровым анимизмом. В данной статье рассмотрен феномен цифрового анимизма и понятие агентности нечеловеческих сущностей в умном доме.

Люди с давних времен наделяли неживым объектам, например, лесу, грому какие-либо свойства, которые характерны для живых организмов. В начале XVIII века, конкретнее в 1708 году, **немецкий учёный Г. Шталь** ввел термин анимизм. Он так назвал своё учение о безличном жизненном начале – душе, лежащей в основе всех жизненных процессов.

В дальнейшем понятие анимизма развил и чуть переосмыслил английский этнограф и культуролог **Эдуард Тайлор.** Он понимал анимизм как **первоначальную стадию развития религии.** Тайлор полагал, что анимизм – «минимум религии», то есть любые религии от примитивных до самых высокоразвитых происходят от анимистических воззрений. Он полагал, что развитие анимистических представлений обусловило возникновение идеи души у первобытного человека. «Согласно этому предположению, «дикарь», размышляя над тем, что с ним происходит во время сновидений, приходил к неверному умозаключению о наличии у него внематериальной основы личности - своеобразного двойника, способного покидать тело во время сна» [1, с. 8]. Следовательно, для первобытного человека ситуации бодрствования и сновидения были практически неразличимы. Имплицитно такие ситуации, как потеря сознания и смерть, припадки и болезни интерпретировались также.

Итак, что же в себя включает понятие «анимизм» в XXI веке? Анимизм (от лат. anima, animus – душа, дух), термин, обозначающий веру в души и духов как в действующее начало предметов и явлений материального мира, включая человека. «Стремление оживить окружающий нас мир, выявить смысловые корни «одушевляемых» технологиями объектов и «оразумнивания» среды, наделения смыслом событий и материи характерно для культуры в целом, а в современности – для движения цифрового и кибернетического анимизма» [2, с. 42]. Два понятия похожи друг на друга, но все-таки между ними присутствует небольшое отличие. Кибернетический анимизм – концепция, которая описывает практику взаимодействия в цифровых пространствах с нечеловеческими или не имеющими тела элементами. Цифровой анимизм – концепция, которая предполагает, что неодушевлённые объекты (компьютеры, смартфоны, искусственный интеллект) наделяются человеческими качествами и эмоциями.

Таким образом, цифровой анимизм фокусируется на «очеловечивании» объектов, а кибернетический анимизм – на взаимодействии с нечеловеческими элементами в цифровом пространстве.

Концепция цифрового анимизма имеет философские корни в материалистических теориях сознания. Материалистические теории сознания предполагают, что сознание – порождение материи, а не самостоятельная субстанция. Такие подходы могут включать классический материализм, эпифеноменализм, функционализм и теории нейроинформатики. Согласно этим теориям, субъективный опыт возникает из определённых конфигураций материи и энергии. Если мозг порождает сознание благодаря своей структуре и функциям, то почему другие сложные системы не могут порождать хотя бы примитивные формы сознания? Это приводит нас к вопросу о том, что именно делает систему способной к переживанию или осознанию. Возможно, это связано с уровнем сложности и организацией элементов системы. Например, в природе мы наблюдаем, как простые молекулы могут объединяться в более сложные структуры, которые затем ведут себя как целостные единицы. Аналогично, в мире технологий можно представить, что «умные» устройства, обладающие достаточной сложностью и интерактивностью, могут развивать формы «сознания», которые будут отличаться от человеческого, но всё же будут иметь свои уникальные характеристики.

Таким образом, можно говорить о возможности существования различных уровней сознания, которые могут проявляться в зависимости от структуры и функциональности системы. Это открывает новые горизонты для понимания взаимодействия между человеком и машиной, где технологии могут не только выполнять задачи, но и развивать свои собственные формы восприятия и реагирования на окружающий мир.

Рассмотрим подробнее систему умный дом. Умный дом (англ. Smart House) – жилой дом современного типа, предоставленный для автоматизации бытовых процессов, объединённых в единую систему для повышения уровня комфорта, безопасности и энергоэффективности. Первым умным домом можно считать компьютер Echo IV, созданный в 1966 году американским программистом-инженером Джеймсом Сазерлендом. Однако само понятие умный дом было сформулировано Институтом интеллектуального здания в Вашингтоне (округ Колумбия) в 1970-х годах: здание, обеспечивающее продуктивное и эффективное использование рабочего пространства. «Интеллектуальное здание» - не очень точный перевод английского термина «intelligent building» [3, с. 318-319]. Под интеллектом в этом подходе понимается умение распознавать определенные ситуации и каким-либо образом на них реагировать (естественно, степень этого умения может быть различной, в том числе очень высокой). Умный дом включает в себя три составляющие: IoT (Интернет Вещей), AI (Искусственный интеллект) и робототехнику.

IoT генерирует огромное количество данных: от датчиков, прикрепленных к частям автомобиля, до слов, с помощью которых можно управлять интеллектуальными колонками. Это означает, что IoT является важным хранилищем больших данных (big data), поскольку позволяет компаниям создавать обширные наборы данных и анализировать их. «IoT преодолевает разрыв между физическим и цифровым миром, это значит, что взлом устройств может иметь опасные последствия для современного мира. В настоящее время тема Интернета вещей стала очень распространенной во многих развитых странах. Большинство компаний понимают, что IoT внесет огромный вклад в будущее, поэтому стараются внедрить эти данные в разработку своих новых продуктов. Но стоит отметить, как говорилось раннее, IoT новая технология, которая нуждается во многих изменениях и усовершенствованиях» [4, с. 1050].

Следующей составляющей умного дома является Искусственный интеллект. Искусственный интеллект (ИИ) – это область компьютерных наук, направленная на создание систем и программ, способных выполнять задачи, обычно требующие интеллекта человека. Появлением Искусственного интеллекта как научного направления можно считать 1940-е года, когда были созданы электронно-вычислительные машины и американский ученый в области математики Норберт Винер опубликовал научные работы по науке – кибернетика.

Заключительным, а конкретнее третьим, столпом умного дома, является робототехника. «Если верить мифологии, то история создания роботов началась еще 2000 лет назад, тогда существовала девушка из золота, которая могла передвигаться, говорить и думать» [5, с. 669]. Если опираться на науку, то в XVIII веке ученые уже начали разрабатывать механические фигуры, которые были схожи по виду и действиям на человека или животных. Итак, что же такое робототехника? Робототехника — это наука, которая занимается разработкой и созданием роботов, а также исследует их в различных условиях и сферах жизни человека. Современная область робототехники начала массово развиваться в XX веке благодаря прогрессу в области электронных элементов и программных решений. «Современная робототехника опирается на сочетание аппаратных компонентов и программного обеспечения, что позволяет устройствам выполнять сложные действия в автономном или полуавтономном режиме» [5, с. 670].

Робототехника в контексте умного дома может быть рассмотрена как предельная форма эволюции бытовых вещей, в которой функциональность сочетается с символическим и социокультурным измерением. Ж. Бодрийяр отмечает, что «технические объекты в современном обществе выходят за рамки утилитарного назначения и включаются в систему знаков и значений, формируя особую «систему вещей» [6, с. 27–29]. В этом смысле робот выступает не просто как инструмент, а как объект, несущий культурную нагрузку и вызывающий специфическое отношение со стороны человека.

В рамках симметричной антропологии Б. Латура робототехника может быть интерпретирована как элемент социотехнической сети, в которой человеческие и нечеловеческие участники действуют совместно. Латур последовательно отказывается от представления о человеке как единственном носителе действия, подчёркивая, что «люди и вещи вместе участвуют в создании мира, в котором мы живём» [7, с. 47–49]. В этом контексте робот в умном доме выступает не как вспомогательное средство, а как актор, чья роль определяется его включённостью в сеть взаимодействий.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что умный дом – это удобный, многофункциональный сервис, который включает в себя множество преимуществ, но, к сожалению, имеет и минусы, выраженные в недоработке данной системы. Несмотря на недостатки, спрос на данное изобретение среди людей разных поколений с каждым годом растет.

Разберем подробнее взаимосвязь между людьми и «умными» устройствами. С развитием технологий отношение человека к современным изобретениям приобретает новый характер. Люди постепенно начинают больше доверять и использовать «умные» устройства в своей жизни, так как они облегчают жизнь во многих сферах, к примеру, в медицине используется дистанционный мониторинг состояния пациентов, «умные» тонометры и электронные стетоскопы передают данные врачу в режиме реального времени, таким образом врач может всегда наблюдать за состоянием пациента; в сельском хозяйстве присутствует мониторинг почвы и урожая, датчики отслеживают влажность почвы, уровень питательных веществ и другие параметры, что помогает фермерам получать информацию о состоянии почвы; так же, конечно, люди используют «умные» устройства в своих домах, простыми словами умный дом.

Выше уже было сказано, что умный дом облегчает и упрощает домашние дела, то есть автоматизирует рутинные дела, например, включает свет по времени, регулирует температуру. Таким образом, мы понимаем, что умные устройства стали неотъемлемой частью нашей жизни. Но всегда ли это хорошо? Рассмотрим некоторые случаи из жизни, когда умный дом становился для людей чем-то большим, чем просто техническое устройство. Первый случай, семья Джонсонов из Калифорнии начала обращаться к своей системе умного дома по имени «Элис». Они разговаривали с ней, как с членом семьи, просили прощения, если случайно отключали питание, и даже устраивал и «день рождения» голосовому помощнику. То есть у семьи появились своеобразные новые ритуалы и привычки при взаимодействии с так называемым «агентом», машиной, в их доме. Второй случай, пожилая женщина в Германии начала считать свой умный дом своеобразным компаньоном. Она рассказывала ему о своём

дне, просила включить определённую музыку и даже обижалась, когда система делала «неправильный» выбор. В данном случае у хозяйки, как и в прошлом примере, появились определенные ритуалы обращения к умному дому, которые стали частью бытовой рутины, которые смогли придать ей взаимодействие и ощущение привычной социальности.

Благодаря приведенным примерам, можно понять, что для людей умный дом становиться слушателем, знакомым и даже другом с которым можно любезно побеседовать и поделиться своими проблемами, ведь робот всегда выслушает хозяина. В связи с этим мы понимаем, что в современных подходах к взаимодействию с «умными» устройствами наблюдается тенденция к использованию антропоморфного языка – способ общения, при котором человек взаимодействует с «умным» устройством, воспринимая его как живое существо. Люди часто описывают поведение своих устройств, придавая им человеческие черты и эмоции: фразы вроде «Алекса сегодня не в настроении», «Говорит, что устала» или «Спасибо за комплимент» стали нередкими в повседневной речи. Такое использование языка помогает сделать взаимодействие более естественным и комфортным, преодолеть дистанцию между человеком и технологией, а также обеспечить эмоциональную связь с «агентами».

Взаимодействие человека с умными устройствами в пространстве умного дома может быть осмыслено через изменение статуса вещи в современной культуре. Ж. Бодрийяр подчёркивает, что «в условиях развитого технологического общества предметы перестают быть нейтральными инструментами и включаются в «систему вещей», формирующую повседневные практики и способы восприятия среды» [6, с. 27–30]. Умные устройства, функционирующие автономно и реагирующие на действия пользователя, усиливают это смещение, поскольку начинают восприниматься как активные элементы домашнего пространства.

Для того чтобы лучше разобраться в данном исследовании, был проведен социологический опрос среди 75 человек разного пола, возраста и рода деятельности, что позволило получить более полное представление о голосах участников.

Для наглядного анализа восприятия умных устройств участниками социологического исследования был рассмотрен вопрос, касающийся того, каким образом респонденты обычно описывают поведение интеллектуальных систем в повседневной жизни. Полученные результаты позволяют выявить степень антропоморфизации и приписывания агентности умным устройствам в контексте умного дома (рис. 1).

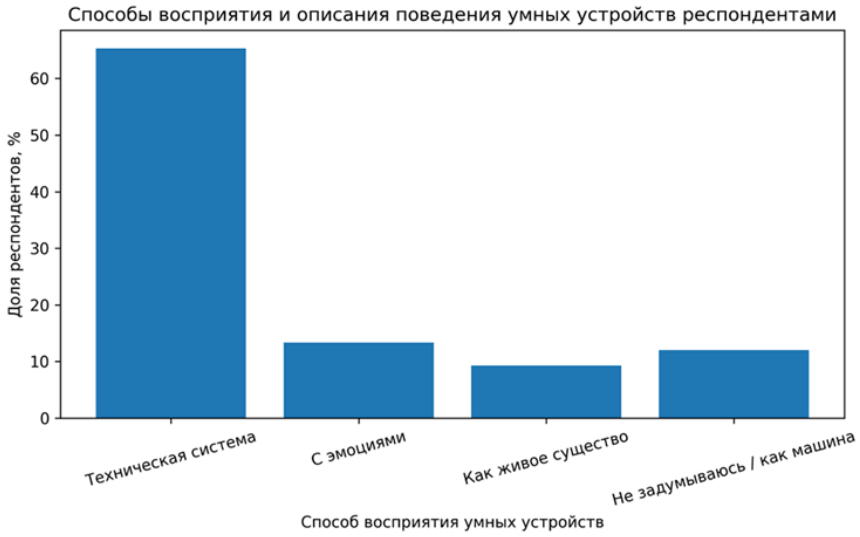


Рис. 10 – Способы восприятия и описания поведения умных устройств респондентами

Как видно из представленных данных, большинство респондентов (65,3 %) склонны воспринимать умные устройства преимущественно как технические системы. Вместе с тем значительная часть участников исследования использует эмоционально окрашенные или

антропоморфные характеристики при описании поведения умных устройств. Так, 13,3 % респондентов отмечают эмоциональный характер взаимодействия с устройствами, а 9,3 % прямо указывают на восприятие умных устройств как «живых» сущностей. Кроме того, 12 % опрошенных не задумываются о характере поведения устройств либо описывают их как обычные машины.

Таким образом, концепция анимизма берет свое начало еще в давние времена, но так как жизнь «не стоит» на месте, и мы живем в эпоху цифровых технологий, появляются и развиваются новые концепции цифрового анимизма и агентности. Исследование показало, что умные дома остаются не просто техническими устройствами, а становятся устройствами в которых имеется «душа», то есть границы между человеком и машиной стираются, а эмоциональная связь с умными системами становится все более глубокой, что подчеркивает важность переосмысления роли технологий в нашей жизни. В некоторых случаях люди считают свои устройства другом или даже членом семьи. С каждым годом становится все больше личностей, которые воспринимают свои устройства как обладающие определенной формой жизни или сознания, что приводит к формированию уникальных отношений между людьми и технологиями. Эти отношения могут быть как позитивными, так и негативными, вызывать волнение.

Проведенное исследование демонстрирует, что «призраки в машине» – это не просто метафора, а реальное явление, которое требует глубокого понимания как со стороны исследователей, так и со стороны разработчиков технологий, но все-таки данное явление больше относится и лежит в области научной фантастики и психологии. Большинство опрошенных относятся к «искусственному интеллекту» как к техническому устройству, решающему определённые задачи. Учитывая быстрое развитие умных домов и связанных с ними технологий, важно продолжать изучение их влияния на человеческие отношения и культурные практики. Только так мы сможем осознанно подходить к созданию более гармоничного сосуществования людей и технологий в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Илья Холопов. Истоки нового анимизма: от когнитивной ошибки к реляционности // Научный журнал «Религиоведческие исследования». – 2022. - №2 (26) [Электронный ресурс]. – URL:https://cyberleninka.ru/article/n/istoki-novogo-animizma-ot-kognitivnoy-oshibki-k-relyatsionnosti/viewer (дата обращения: 23.03.2026)
2. Аршинов В.И. Киберанимизм: искусство быть живым в гибридном обществе // Электронный журнал «Философские проблемы информационных технологий и киберпространства». – 2021. - №2 (20) [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kiberanimizm-iskusstvo-byt-zhivym-v-gibridnom-obschestve/viewer (дата обращения: 23.03.2026)
3. Карнаева Р.С. Возможности умного дома // Журнал «Экономика и социум». – 2018. - №10 (53) [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-umnogo-doma/viewer (дата обращения: 23.03.2026)
4. Пахлебухина В.Г. Что такое IoT? // Научный журнал «Форум молодых ученых». – 2018. – 5/2 (21) [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/chto-takoe-iot/viewer (дата обращения: 23.03.2026)
5. Цыплов Е.А. Робототехника // Научный журнал «Экономика и социум». – 2021. - №11 (90)-2 [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/robototehnika-2/viewer (дата обращения: 23.03.2026)
6. Бодрийяр Ж. Система вещей / пер. с фр. — М. : Рудомино, 2001. — 224 с.
7. Латур Б. Нового времени не было: эссе по симметричной антропологии / пер. с фр. — СПб. : Изд-во Европейского университета в Санкт-Петербурге, 2006. — 296 с.

ВОСПРОИЗВОДИМЫЙ ПРОТОКОЛ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ: КОНВЕЙЕР ОЦЕНКИ, QUALITY GATES И БАЗОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НА MMLU-STEM

Дрыга Д.В., студент 1 курса магистратуры
Научный руководитель - к.т.н., доцент **Соловьев А.Ю.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Современные большие языковые модели (LLM) быстро переходят из исследовательских прототипов в компоненты прикладных систем: от чат-ассистентов и автоматизации поддержки до аналитических модулей в системах управления и документообороте. При этом для внедрения в производственную среду требуется не только высокая точность, но и инженерно воспроизводимая процедура оценки, позволяющая корректно сравнивать модели между собой и отслеживать регрессии при изменении промпта, параметров декодирования и окружения.

Публичные бенчмарки, в том числе MMLU, HELM и BIG-bench, широко используются для сравнения LLM, однако итоговые показатели заметно зависят от деталей протокола: формата задания, параметров генерации, правил постобработки и агрегации, а также способа извлечения финального ответа. В практических задачах автоматической проверки multiple-choice это особенно критично: даже при содержательно верном рассуждении модель может выдать ответ в формате, не пригодном для автопроверки.

Цель работы - описать воспроизводимый evaluation-конвейер для задач multiple-choice (варианты A-D) с автоматической проверкой, ввести критерии форматной корректности (FAIL) и показать совместное использование метрик Accuracy и FAIL-rate для инженерного принятия решений. В статье представлены фрагментарные результаты диссертационного исследования с акцентом на протокол эксперимента и baseline-оценку на MMLU-STEM.

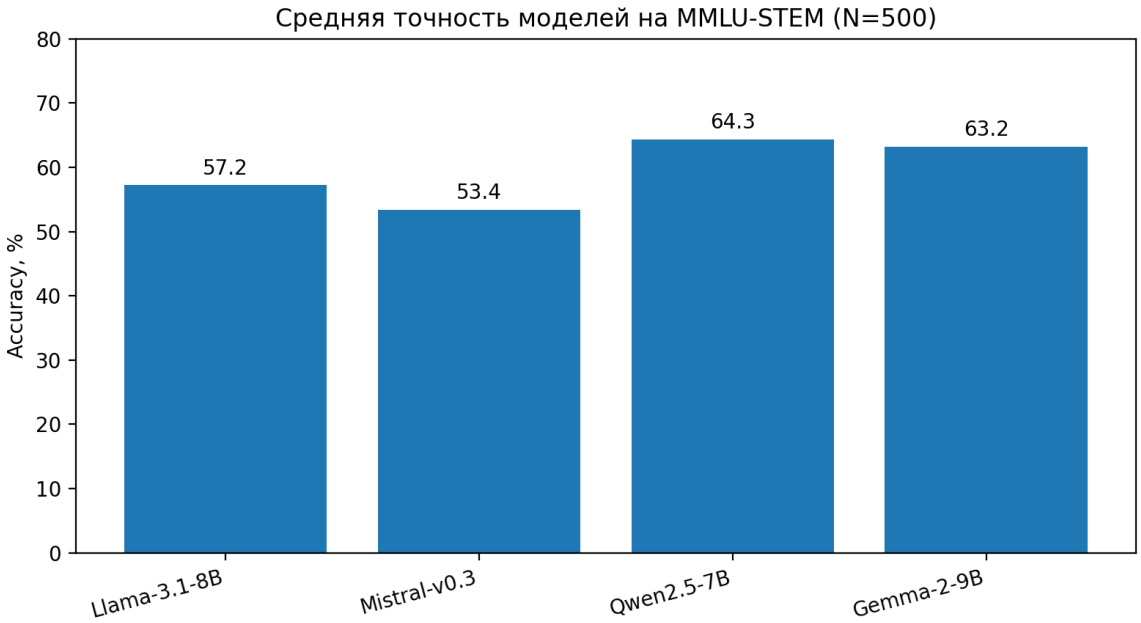


Рис. 1 – Средняя точность (Accuracy) моделей на MMLU-STEM (N=500 вопросов)

Оценивание выполнялось на подвыборке MMLU-STEM (MMLU [6]; реализация через lm-evaluation-harness [7]) из 5 STEM-дисциплин (стратифицированно: равновероятно случайно по 100 без повторов; N=500). Оценивались instruction-tuned варианты: Llama-3.1-8B-Instruct, Mistral-7B-Instruct-v0.3, Qwen2.5-7B-Instruct и Gemma-2-9B-IT. В данной статье

baseline-прогон фиксируется в greedy-режиме (do_sample=False); расширенная матрица параметров (temperature/top_p, повторы по seed и др.) относится к следующему этапу исследования и рассматривается отдельно.

Для обеспечения воспроизводимости эксперимента в evaluation-конвейере целесообразно фиксировать полный набор сопутствующих артефактов: идентификатор и версию модели, шаблон промпта, параметры генерации, состав и способ формирования тестовой подвыборки, правила парсинга ответа, программное окружение, версию evaluation-framework и сведения о вычислительном устройстве. Практически это означает сохранение конфигурационных файлов запуска, логов инференса, исходного списка заданий, а также итоговых таблиц результатов в машиночитаемом виде. Такой подход позволяет не только повторно воспроизвести baseline-оценку, но и корректно интерпретировать различия между прогонами при изменении модели, промпта или параметров декодирования.

Отдельного внимания требует детерминированность процедуры извлечения ответа. В задачах multiple-choice на итоговую оценку влияет не только качество рассуждения модели, но и устойчивость формата вывода. Поэтому в протоколе необходимо явно задавать допустимый шаблон ответа, правило выбора первой валидной метки и алгоритм обработки неоднозначных или пустых генераций. Разделение содержательных ошибок и форматных дефектов позволяет использовать метрику FAIL-rate как самостоятельный инженерный индикатор пригодности модели к автоматической проверке.

Метрики определяются следующим образом: Accuracy = N_correct / N_valid, где N_valid = N_total - N_FAIL, а FAIL-rate = N_FAIL / N_total. Валидный ответ - первая одиночная буква A-D в начале строки после опционального префикса Answer/Ответ:; иначе FAIL. В baseline FAIL-rate не превышает 1.2 %, поэтому N_valid >= 494.

Таблица 1 содержит baseline-значения Accuracy по дисциплинам и суммарный FAIL-rate (ошибки формата). По среднему Accuracy лидирует Qwen2.5-7B-Instruct (64.3 %), близко следует Gemma-2-9B-IT (63.2 %), тогда как Llama-3.1-8B-Instruct и Mistral-7B-Instruct-v0.3 уступают по точности на 7-11 п.п. В разрезе дисциплин видно разделение сильных сторон: Qwen2.5 лучше в Computer Science и Mathematics, а Gemma-2 - в Physics и Electrical Engineering.

Таблица 1 – Точность (Accuracy) по дисциплинам на MMLU-STEM (baseline-прогон)

Дисциплина	**Llama-3.1-Instruct, %**	**Mistral-7B-Instruct-v0.3, %**	**Qwen2.5-Instruct, %**	**Gemma-2-IT, %**	**Лучший**
College Computer Science	62.0	58.0	69.0	65.2	Qwen2.5
Machine Learning	55.3	52.1	64.5	60.5	Qwen2.5
College Mathematics	51.5	47.8	68.2	63.4	Qwen2.5
Electrical Engineering	58.0	53.4	61.1	62.1	Gemma-2
Physics	59.2	55.6	58.8	64.8	Gemma-2
Среднее	57.2	53.4	64.3	63.2	Qwen2.5
FAIL-rate (ошибки формата)	0.8	1.2	0.4	0.6	Qwen2.5 (мин.)

Для инженерной эксплуатации одного сравнения по среднему значению недостаточно: процедуру оценки целесообразно включать в цикл изменений как регрессионную проверку. С этой целью вводятся quality gates - пороги по ключевым метрикам [2]. Пороги задаются относительно baseline и выбираются с учетом стоимости ручной проверки, риска инцидентов и требований к стабильности автоматической обработки [3].

Таблица 2 – Пример quality gates для регрессионной проверки протокола
Статусы: PASS - допуск; FAIL - регрессия; REVIEW - ручная проверка.

Метрика	**Порог (пример)**	**Решение**	**Пояснение**
Accuracy (среднее)	>= baseline - 1.0 п.п.	PASS/FAIL	контроль общей регрессии
Accuracy по дисциплинам	>= baseline - 2.0 п.п.	REVIEW	ловит доменные деградации
FAIL-rate	<= 3 %	PASS/FAIL	пригодность к автопроверке
σ Accuracy (повторы, при k>=3)	<= 0.5 п.п.	REVIEW	устойчивость результата
Bias A-D	max share <= 0.40	REVIEW	контроль перекоса по валидным (все N; порог эмп.)
P95 время/вопрос	<= SLA (end-to-end, сек/вопр., b=1; device см. env.txt)	REVIEW	встраиваемость (инференс+парсинг)

Ограничения baseline-оценки заключаются в том, что полученные результаты привязаны к конкретному шаблону промпта, правилам парсинга, параметрам декодирования и фиксированной подвыборке вопросов. Для повышения доказательности на следующем этапе планируется расширение экспериментальной матрицы: повторы по seed (k=3), сравнение нескольких шаблонов промпта, варьирование decoding-параметров, а также анализ устойчивости по времени ответа и распределению вариантов A-D [4].

Дополнительно регрессионный контроль может включать повторные запуски на фиксированном наборе задач с несколькими seed и сравнением распределений по дисциплинам. Это позволяет отделять случайную вариативность от реальной деградации качества и выявлять частные ухудшения, скрытые средним значением Accuracy. Для инженерной практики важен именно такой многоуровневый анализ, поскольку производственные риски часто возникают не на агрегированном уровне, а в конкретных классах задач.

С практической точки зрения предложенный протокол может быть встроен в цикл изменений прикладной LLM-системы как обязательный этап приемки новой версии модели, промпта или конфигурации запуска. В этом случае quality gates выполняют функцию минимального набора эксплуатационных критериев, обеспечивая сопоставимость результатов между итерациями и снижая риск скрытых регрессий. Для систем автоматизации такой подход особенно важен, поскольку даже при близких значениях Accuracy рост FAIL-rate или времени ответа может сделать модель неудобной для реального использования.

Заключение. Показано, что воспроизводимый протокол оценки LLM должен фиксировать артефакты эксперимента и измерять две базовые группы показателей:

содержательную корректность (Accuracy) и форматную пригодность (FAIL-rate). На MMLU-STEM baseline-сравнение четырех открытых моделей класса 7-9B показывает преимущество Qwen2.5-7B-Instruct и Gemma-2-9B-IT по средней точности при низком FAIL-rate. Предложенные quality gates могут использоваться как практический механизм регрессионного контроля в evaluation-конвейере [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов П.С., Кузнецова Е.А. Подходы к оценке качества больших языковых моделей в задачах автоматической обработки текста // Информационные технологии и вычислительные системы. - 2023. - Т. 18. - № 4. - С. 32-44.

2. Смирнов Д.В., Орлова М.Н. Воспроизводимость результатов в экспериментах по машинному обучению: проблемы и практические решения // Программные продукты и системы. - 2022. - Т. 35. - № 3. - С. 517-526.

3. Горбань А.Н. Надежный и логически прозрачный искусственный интеллект: методы валидации и верификации // Современные проблемы науки и образования. - 2021. - Т. 12. - № 6. - С. 45-58.

4. Зеленков Ю.А. Управление знаниями организации и большие языковые модели // Электронный ресурс. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-znaniyami-organizatsii-i-bolshie-yazykovye-modeli (дата обращения: 20.03.2026).

5. Намиот Д.Е. О причинах неудач проектов машинного обучения // Электронный ресурс. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-prichinah-neudach-proektov-mashinnogo-obucheniya (дата обращения: 21.03.2026).

6. Hendrycks D., Burns C., Basart S. et al. Measuring Massive Multitask Language Understanding // International Conference on Learning Representations (ICLR). - 2021.

7. Gao L., Tow J., Abbasi B. et al. A framework for few-shot language model evaluation // Zenodo. - 2023. - Version 0.4.0. - DOI: 10.5281/zenodo.10256836.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА АРХИТЕКТУРЫ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ RESNET-18 ДЛЯ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДЕФЕКТОВ

Дубков К.А., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Полещенко Д.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

1. Введение

На производственных объектах экономическая отдача определяется совокупностью факторов: спросом на продукт, производственной мощностью, условиями налогообложения.

Однако ключевым ограничением, сдерживающим рост производственной мощности, являются устаревшие производственные контуры, которые лишают компании потенциального дохода. Чем эффективнее организован процесс контроля качества, тем выше экономическая эффективность. Следовательно, любое техническое решение, сокращающее время контроля при сохранении его качества, напрямую влияет на экономическую отдачу производства. Именно по этой причине машинное зрение является одной из самых востребованных технологий нашего времени.

В данной работе изложено техническое решение - автоматизация контроля наличия лака на металлических пластинах при производстве жестяных банок. Решение, о котором далее пойдёт речь, позволяет сократить время контроля, а также уменьшить количество ошибочных проверок, благодаря сведению человеческого фактора при проверке заготовок до минимума.

2. Обоснование выбора архитектуры нейронной сети

Свёрточные нейронные сети (далее СНС) являются основным инструментом для анализа изображений в задачах машинного зрения. В отличие от полносвязных сетей, СНС используют операцию свёртки, что позволяет эффективно выделять признаки при значительном сокращении числа обучаемых параметров. Фильтр (ядро) последовательно сдвигается по изображению, вычисляя сумму произведений значений пикселей на веса фильтра. Результатом является карта признаков, показывающая, где данный признак присутствует. Благодаря этому свойству сеть распознаёт дефект независимо от его положения в кадре.

Задача сегментации изображений заключается в присвоении каждому пикселю входного изображения метки класса. В данной работе используется три класса: 0 (фон), 1 (лаковая поверхность тип 1), 2 (нелаковая поверхность). Результатом работы модели является маска того же размера, что и входное изображение. Для текущей задачи требуется определить лаковую поверхность на металлической необработанной части. Модель сегментации находит на изображении потенциальную область каждого класса. Типичная архитектура для сегментации состоит из энкодера, который постепенно уменьшает разрешение поданной матрицы, выделяя семантические признаки, и декодера, который восстанавливает исходное разрешение, формируя маску.

Таблица 1 – Сравнение архитектур семейства ResNet

Параметр	Resnet-18	Resnet-34	Resnet-50
Количество слоёв	18	34	50
Количество параметров	~11,7 млн	~21,8 млн	~25,6 млн
Тип блоков	Basic	Basic	Bottleneck
Склонность к переобучению на малых данных	Низкая	Средняя	Высокая
Требования к памяти (веса)	< 50 МБ	~90 МБ	~100 МБ

Как видно из таблицы 1, ResNet-18 уступает более глубоким сетям в способности выделять сложные признаки, так как у неё меньше слоёв. Однако у архитектуры ResNet-18 есть 4 неоспоримых преимущества:

Размер обучающей выборки. В распоряжении имелось 364 размеченных тепловизионных снимка. Для глубоких сетей, таких как ResNet-34 и ResNet-50, такого объёма данных недостаточно - они начинают запоминать конкретные изображения вместо выделения общих признаков дефектов. ResNet-18 благодаря меньшему числу параметров (11,7 млн против 21,8 млн у ResNet-34) более устойчива к переобучению на малых данных.

Скорость работы. Промышленная система контроля должна обрабатывать видеопоток в реальном времени. ResNet-18 имеет большую скорость обработки кадров за счёт меньшего количества слоёв. Несмотря на прирост в точности, использование более крупных моделей приведёт к значительным задержкам.

Достаточная точность. Искомые области на тепловизионных снимках (характерное поглощение тепла лаковым покрытием и отражение металлической поверхностью) обычно имеют крупный размер и чёткие границы. Применение более тяжёлых моделей по типу ResNet-34 и ResNet-50 было бы избыточным для определения таких объектов.

Возможность внедрения. ResNet-18 может работать не только на мощном сервере с GPU, но и на промышленных контроллерах или одноплатных компьютерах (например, NVIDIA Jetson Nano). Веса модели занимают менее 50 мегабайт. ResNet-34 и ResNet-50 требуют более дорогого оборудования, что увеличивает стоимость внедрения и усложняет интеграцию в существующие производственные контуры.

3. Методика эксперимента и результаты

Подготовка данных

В качестве исходных данных использовались тепловизионные снимки металлических пластин в формате BMP. Изображения чёрно-белые (один канал). Предобработка включала приведение размеров к числу, кратному 32, с помощью паддинга (добавления чёрных полей). Разметка выполнялась вручную в инструменте VIA. Каждому пикселю присваивалась метка: 0 (фон), 1 (лаковая поверхность), 2 (нелаковая поверхность). Маски сохранялись в формате .npy. Всего подготовлено 52 размеченных примера. Благодаря применению аугментаций выборка была увеличена до 364 экземпляров.

Условия эксперимента

Эксперимент проводился на GPU Google Colab. Использовалась архитектура FPN (Feature Pyramid Network) с энкодером ResNet-18 [1]. Архитектура FPN реализована с использованием библиотеки smp [2]. Функция потерь - CrossEntropyLoss.

Обучение модели проводилось в течение 4 эпох на датасете из 364 экземпляров с размером батча 7. Начальное значение функции потерь составило 1,922. Динамика изменения Loss и Accuracy по эпохам представлена на рисунке (начальное значение не отображено на рисунке для повышения информативности), а результаты обучения каждой эпохи представлены в таблице ниже.

Рис. 1 – график зависимости ошибок от времени

Таблица 2 – Динамика обучения

Эпоха	Средний Loss	Accuracy
1	0,0861	48,6%
2	0,0183	79,8%
3	0,0133	86,9%
4	0,0122	88,1%

Результаты тестирования

В связи с ограничением по количеству реальных экземпляров тестирование было осуществлено на основании малой выборки, не вошедшей в обучающий датасет. В качестве визуальной оценки работоспособности обученной модели было принято отобразить те области, где модель справилась, а где есть упущения. На рис.2 использована следующая цветовая маркировка:

1. Ярко-зелёная область – предсказание модели совпадает с реальной маской;
2. Тёмно-зелёная область – область реальной маски, которую модель упустила;
3. Красная область – ложное предсказание;

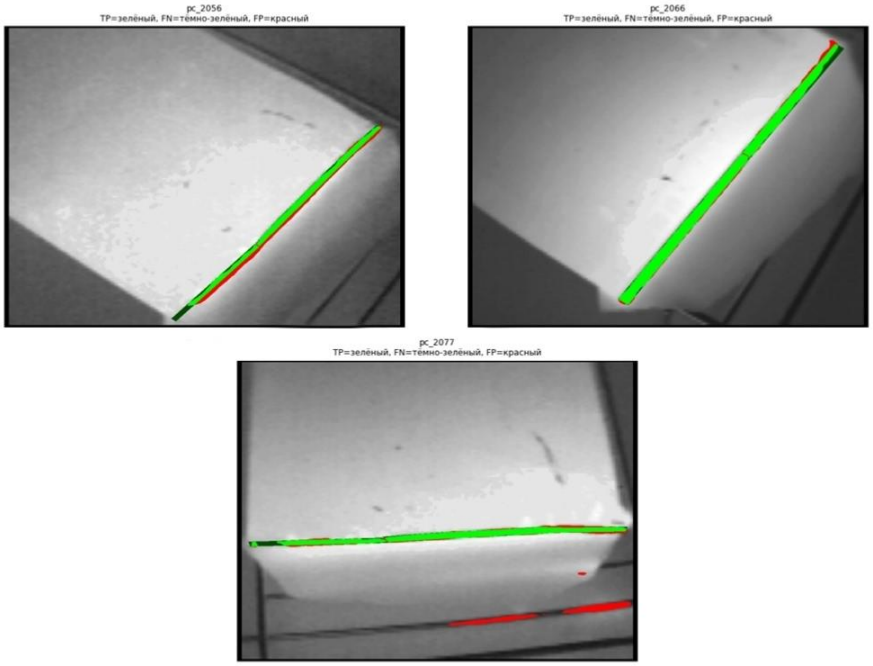


Рис. 2 – Соответствие предсказания модели и размеченной маски

По результатам теста были выведены оценки точности модели. Расчёт метрик Accuracy (доля правильно классифицированных пикселей), Precision (доля правильных предсказаний дефекта среди всех предсказаний дефекта), Recall (доля найденных дефектов среди всех реальных дефектов) и F1 (среднее гармоническое Precision и Recall) выполнен по формулам, приведённым в [3], расчёт IoU (пересечение предсказанной и реальной маски, делённое на их объединение) выполнен по формуле, приведённой в [4]. TP (True Positive) - количество корректных предсказаний (Количество пикселей, где модель правильно предсказала класс), TN (True Negative) - количество корректных предсказаний фона (Количество пикселей, где модель правильно предсказала фон) FN - (False Negative) - пропущенное предсказание (Количество пикселей, где модель не обнаружила класс, хотя он есть в реальной маске), FP (False Positive) - количество ложных срабатываний (Количество пикселей, где модель обнаружила класс, хотя его нет в реальной маске):

Таблица 3 – Метрики качества на тестовой выборке

Метрика	Класс 1 (лаковая поверхность)	Класс 2 (нелаковая поверхность)	Среднее
IoU	59,98%	72,90%	66,44%
Accuracy	99,66%	99,55%	99,61%
Precision	74,27%	75,28%	74,78%
Recall	74,34%	95,95%	85,15%
F1	74,09%	83,59%	78,84%

На рисунке 3 представлены результаты работы модели на одном из тестовых изображений. На рисунки отображены: оригинальное тепловизионное изображение, предсказанная моделью маска и эталонная маска (разметка).

Рис. 3 – сравнение тепловизионного снимка, предсказания модели и маски

Заключение

Результаты тестирования модели (средний IoU 66,44%, Accuracy 99,61%) подтверждают её пригодность для выполнения поставленной задачи. Модель определяет классы поверхностей с умеренной точностью. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширения датасета и эксперименты с другими архитектурами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – Las Vegas, 2016. – С. 770-778.

2. Iakubovskii P. Segmentation Models PyTorch [Электронный ресурс]. – URL: https://smp.readthedocs.io/en/latest/ (дата обращения: 06.04.2026).

3. Гудфеллоу И., Бенджио И., Курвилл А. Глубокое обучение. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.

4. Everingham M., Van Gool L., Williams C.K.I., Winn J., Zisserman A. The PASCAL Visual Object Classes (VOC) Challenge // International Journal of Computer Vision. – 2010. – Vol. 88(2). – P. 303-338.

ПОЛИМЕРЫ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КАЧЕСТВЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Евдокимов К.А., студент 1 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Мякотина М.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В современной радиоэлектронике, телекоммуникациях и устройствах миллиметрового диапазона (5G/6G, радары, высокочастотные кабели, антенны и печатные платы) крайне важны материалы, обеспечивающие минимальное затухание сигнала. Полимерные диэлектрики занимают ведущее место среди таких материалов благодаря низкой плотности, гибкости, технологичности обработки и относительно низкой стоимости по сравнению с керамикой или неорганическими диэлектриками. Однако не все полимеры подходят для работы на высоких частотах. Основные требования к высокочастотным полимерным диэлектрикам, низкая относительная диэлектрическая проницаемость (ε_r обычно в пределах 1,9–3,2), крайне малый тангенс угла диэлектрических потерь (tg δ <0,001 на частотах выше 1 ГГц), стабильность свойств в широком диапазоне частот и температур, минимальное влагопоглощение.

Диэлектрические свойства полимеров определяются механизмами поляризации. В неполярных полимерах преобладает электронная поляризация, которая происходит практически мгновенно и не вызывает заметных энергетических потерь даже на сверхвысоких частотах. Такие материалы не обладают постоянным дипольным моментом из-за симметричной структуры макромолекул. Напротив, в полярных полимерах присутствует дипольно-релаксационная поляризация, приводящая к значительным потерям на частотах, соответствующих времени релаксации диполей. Именно поэтому для высокочастотных применений предпочтительны неполярные или малополярные полимеры [2].

Затухание сигнала в линии передачи пропорционально произведению

$$\sqrt{\varepsilon_r} \times \mathrm{tg}\,\delta \times f \qquad (1)$$

(где f - частота). Следовательно, минимизация как диэлектрической проницаемости, так и тангенса потерь позволяет существенно снизить потери. Дополнительными важными факторами являются термостабильность, химическая инертность, низкое влагопоглощение (влага резко повышает tg δ) и механические характеристики [4, 9].

Наиболее распространенным и признанным «золотым стандартом» является политетрафторэтилен (PTFE, фторопласт-4, Teflon). Этот полностью фторированный полимер имеет структуру $(–CF_2–CF_2–)_n$, обеспечивающую нулевой дипольный момент. Типичные значения, $\varepsilon_r \approx 1{,}9–2{,}1$, tg δ ≈ 0,0002–0,0003 даже на частотах 10 ГГц и выше. PTFE отличается рекордно низкими потерями, химической инертностью, рабочей температурой от –200 до +260 °C и минимальным влагопоглощением (менее 0,01 %). Основные области применения, коаксиальные кабели, СВЧ-печатные платы, антенны и соединители. К недостаткам относятся низкая механическая прочность и сложность переработки (материал спекается, а не плавится) [3, 10]. Хорошими характеристиками обладают полиэтилен (ПЭ) и полипропилен (ПП), $\varepsilon_r \approx 2{,}2–2{,}3$, tg δ ≈ 0,0002–0,0005. Эти материалы недороги, технологичны и широко используются в изоляции кабелей до частот 10–20 ГГц. Полистирол (ПС) имеет $\varepsilon_r \approx 2{,}5$ и tg δ ≈ 0,0004, отличается высокой размерной стабильностью [1]. Современными перспективными материалами являются циклоолефиновые полимеры (COC/COP) с $\varepsilon_r \approx 2{,}3–2{,}5$ и tg δ <0,001. Они хорошо формуются, обладают низким влагопоглощением и стабильностью до 150 °C, что делает их подходящими для 5G-антенн и оптико-электронных модулей [5]. Жидкокристаллические полимеры (LCP) занимают особое место, $\varepsilon_r \approx 2{,}9–3{,}2$, tg δ ≈ 0,002–0,003 в диапазоне 10–60 ГГц. Они сочетают высокую термостабильность (до +240 °C), низкий

коэффициент теплового расширения и отличную гибкость, поэтому активно применяются в гибких печатных платах смартфонов и mmWave-устройствах 5G/6G [6].

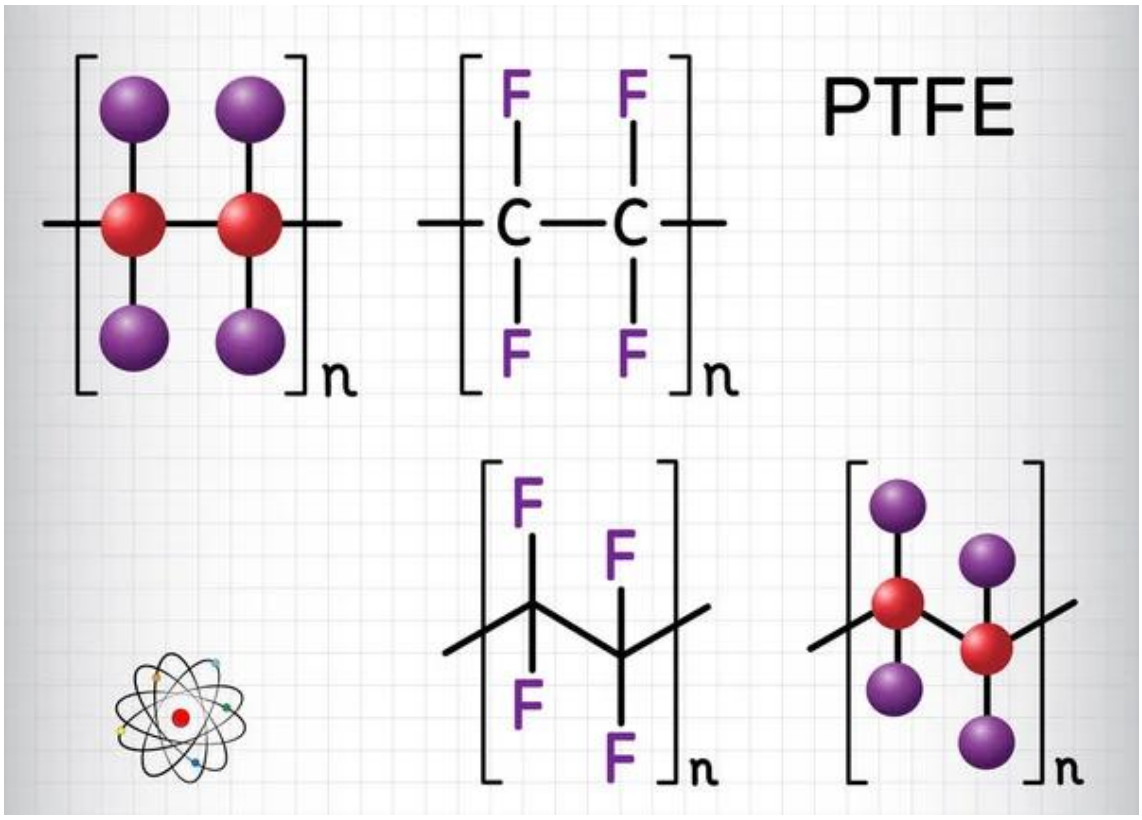


Рис. 1 – Молекулярная структура политетрафторэтилена (PTFE)
(структурная формула и 3D-модель, иллюстрирующая симметричную неполярную цепь с атомами фтора и углерода)

Полиэфирэфиркетон (PEEK), хотя и более полярный, перспективен при необходимости высокой механической прочности и температуры до +250 °C ($\varepsilon_r \approx 3{,}1$, tg $\delta \approx 0{,}004$).

Полярные полимеры (например, поливинилхлорид или обычные полиимиды) имеют tg $\delta > 0{,}01$ и обычно не рекомендуются для частот выше 1 ГГц без специальной модификации [8].

Таблица 1 – Сравнительные диэлектрические свойства основных полимеров (примерные значения на частоте ~10 ГГц, 20 °C)

Полимер	ε_r	tg δ	Рабочая температура, °C	Влагопоглощение, %	Основные применения
PTFE (фторопласт-4)	1,9–2,1	0,0002–0,0003	–200…+260	<0,01	Кабели, СВЧ-платы, антенны
ПЭ / ПП	2,2–2,3	0,0002–0,0005	–60…+110	<0,01	Изоляция кабелей
ПС	2,5	0,0004	–40…+80	<0,05	Изоляторы, конденсаторы
COC / COP	2,3–2,5	<0,001	–50…+150	<0,01	5G-антенны, оптика
LCP	2,9–3,2	0,002–0,003	–50…+240	<0,02	Гибкие платы, mmWave-устройства
PEEK	3,1	~0,004	–65…+250	<0,5	Высокотемпературные конструкции

При выборе полимерного диэлектрика для высокочастотных применений необходимо учитывать целый комплекс взаимосвязанных факторов, поскольку ни один материал не является универсальным и не может одновременно идеально удовлетворять все требования современных радиоэлектронных устройств. Одним из ключевых критериев выступает частотный диапазон работы устройства. Для относительно низких частот (до 10 ГГц), характерных для многих приложений 5G суб-6 ГГц и традиционных СВЧ-систем, часто бывает достаточно хорошо изученных и доступных материалов, как политетрафторэтилен (PTFE) или полиэтилен (ПЭ). Эти полимеры обеспечивают очень низкие диэлектрические потери и приемлемую стабильность. Однако при переходе в миллиметровый диапазон (10–100 ГГц и выше), где работают mmWave-антенны, модули 5G/6G и высокоскоростные линии передачи данных, предпочтение отдается материалам с более стабильными характеристиками на экстремальных частотах, жидкокристаллическим полимерам (LCP), циклоолефиновым полимерам (COC/COP) или специально модифицированным PTFE-композитам (например, с добавлением стекловолокна или керамики). На таких частотах даже незначительное увеличение tg δ приводит к существенному росту затухания сигнала, поэтому приоритет отдается материалам с минимальной частотной зависимостью диэлектрических свойств [9].

Не менее важным фактором является стоимость и технологичность переработки. Полиэтилен и полипропилен (ПП) остаются наиболее дешевыми и простыми в обработке материалами, они легко экструдируются, литьем под давлением или выдуванием, что делает их идеальными для массового производства изоляции кабелей и недорогих антенн. В отличие от них, PTFE, несмотря на превосходные электрические характеристики, отличается высокой стоимостью сырья и сложной технологией переработки, материал не плавится, а спекается при высоких температурах, что ограничивает его применение в крупносерийном производстве сложных форм. LCP и COC занимают промежуточное положение, они хорошо формуются традиционными методами термопластов, обладают отличной текучестью и позволяют получать тонкие прецизионные детали, однако их цена заметно выше, чем у полиолефинов [7].

Механические и термические требования часто становятся определяющими при выборе материала для конкретного изделия. В многослойных печатных платах, гибких антеннах смартфонов, автомобильной электронике и аэрокосмических устройствах критически важны высокая термостабильность, низкий коэффициент теплового расширения (КТР), механическая прочность и сопротивление деформациям при циклических нагрузках. Здесь преимущество получают LCP и PEEK, первый обеспечивает рабочую температуру до +240 °C при отличной размерной стабильности и низком КТР, второй, высокую прочность и стойкость к температурам до +250 °C. PTFE, обладая рекордно низкими потерями, уступает по механическим свойствам (низкая прочность на разрыв и склонность к ползучести), поэтому часто используется в виде композитов. COC и демонстрирует хорошую термостабильность до 150 °C и низкое влагопоглощение, что важно для стабильности характеристик в условиях переменной влажности и температуры [10].

Экологические аспекты и перерабатываемость в последние годы приобретают всё большее значение в связи с ужесточением экологических норм и стремлением к циркулярной экономике. Классический PTFE сложно перерабатывать, его рециклинг требует энергоёмких процессов (пиролиз или механическое измельчение), а производство сопровождается значительными выбросами CO_2 и использованием опасных прекурсоров. В этом отношении современные COC и LCP имеют заметные преимущества, они лучше поддаются механическому рециклингу, могут интегрироваться в потоки переработки полиолефинов и обладают более низким углеродным следом при производстве. Кроме того, при выборе материала учитывают влагопоглощение (влага резко повышает потери), химическую стойкость, радиационную стойкость и совместимость с процессами монтажа (например, пайкой оплавлением) [9].

Выбор высокочастотного полимерного диэлектрика представляет собой многокритериальную оптимизационную задачу, в которой балансируются электрические

параметры, технологичность, механические и термические характеристики, стоимость и экологические показатели. Для каждого конкретного применения (кабели, антенны, печатные платы, модули 5G/6G) формируется свой оптимальный компромисс, часто с использованием композитных материалов, сочетающих преимущества нескольких полимеров. Дальнейшее развитие связано с созданием новых низкополярных полимеров и композитов, позволяющих одновременно улучшать несколько противоречивых характеристик.

Полимерные диэлектрики для высокочастотных применений выбирают преимущественно среди неполярных и малополярных материалов (PTFE, ПЭ, ПП, ПС, COC, LCP). Благодаря преобладанию электронной поляризации они обеспечивают минимальные диэлектрические потери и высокую стабильность характеристик. PTFE сохраняет лидерство по электрическим параметрам, в то время как LCP и COC предлагают лучшее сочетание электрических, механических и технологических свойств для современных систем 5G/6G. Правильный выбор материала позволяет существенно снизить затухание сигнала, повысить скорость передачи данных и обеспечить надежность устройств в широком диапазоне условий эксплуатации. Перспективы развития связаны с созданием композитов на основе PTFE и новых низкополярных полимеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов Г. П. Высокомолекулярные диэлектрики // Успехи химии. – 1960. – Т. 29, вып. 7. – С. 875–912.
2. Стенько Д. В. Анализ особенностей электрических свойств полимерных диэлектриков [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. – 2024. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-osobennostey-elektricheskih-svoystv-polimernyh-dielektrikov (дата обращения: 31.03.2026).
3. Материалы для СВЧ и высокотемпературных печатных плат [Электронный ресурс]: каталог компании Taconic. – URL: https://www.taconic.com/ (дата обращения: 31.03.2026).
4. Веселовский П. Ф. Низкочастотные и высокочастотные диэлектрические потери в аморфных полимерах // Известия ТПУ. 1956. №. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/nizkochastotnye-i-vysokochastotnye-dielektricheskie-poteri-v-amorfnyh-polimerah (дата обращения: 31.03.2026).
5. Vectra Liquid Crystal Polymer (LCP) Design Guide [Электронный ресурс] / Celanese. – URL: https://www.celanese.com/ (дата обращения: 31.03.2026).
6. Михайлин Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010. – 822 с. – ISBN 978-5-91703-003-6.
7. Пономаренко А. Т., Шевченко В. Г., Соколов В. И. и др. Физика композиционных материалов: монография. – М.: Научные основы и технологии, 2015. – 456 с.
8. Марина И. Губанова, Анастасия О. Соловьева, Ирина А. Кирш, Ольга А. Банникова Современные аспекты исследования влияния физических воздействий на свойства полимеров // Вестник ВГУИТ. 2023. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-aspekty-issledovaniya-vliyaniya-fizicheskih-vozdeystviy-na-svoystva-polimerov (дата обращения: 31.03.2026).
9. Москвитин Л. В., Магомедбеков Э. П., Слесаренко В. С., Рындя С. М., Смолянский А. С. РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОРАДИАЦИОННО-МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА, ОБЛУЧЕННОГО УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ КСЕНОНА // Успехи в химии и химической технологии. 2022. №9 (258). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/radiatsionno-indutsirovannye-izmeneniya-opticheskih-harakteristik-termoradiatsionno-modifitsirovannogo-politetraftoretilena (дата обращения: 31.03.2026).

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП ПЕЧИ НАГРЕВА СПЦ-2 АО «ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА»

Жилмостных В.В., студент 4 курса
Научный руководитель - к.т.н., доцент **Кривоносов В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В данной работе рассматривается модернизация АСУ ТП печи нагрева СПЦ-2 АО «ОЭМК им. А.А. Угарова», предназначенной для нагрева заготовок, поступающих с СПЦ-1, до требуемой температуры прокатки на стане «350» сортопрокатного цеха №2. На рисунке 1 представлена схема печи нагрева.

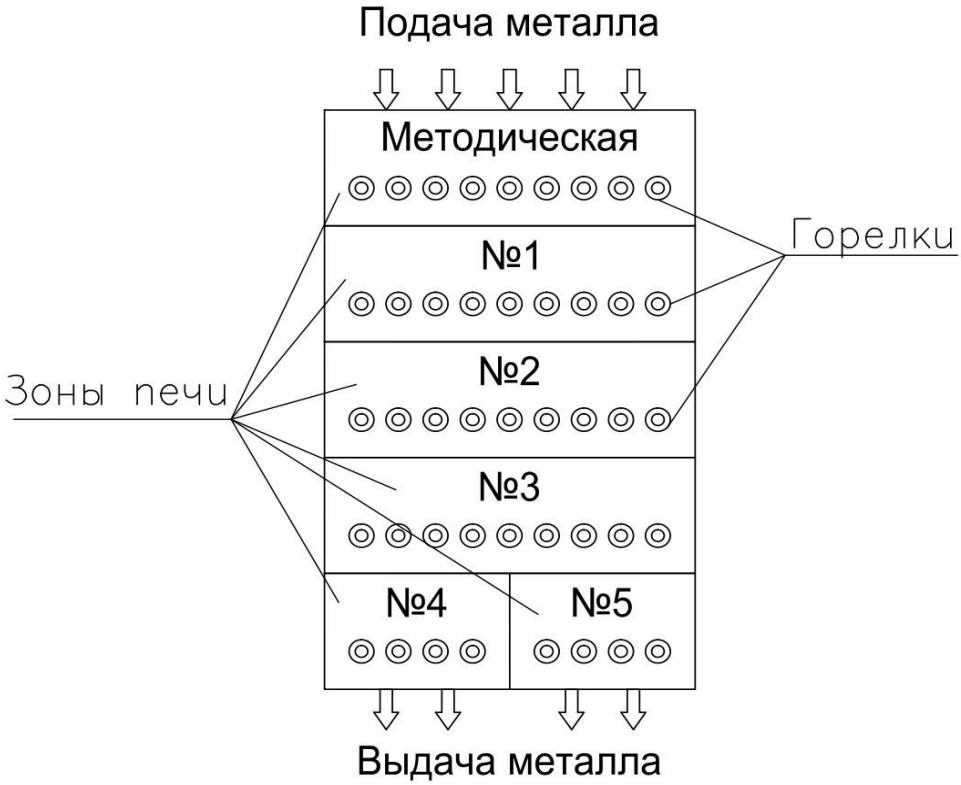


Рис. 1 – Схема печи нагрева

Печь нагрева заготовок перед прокатом представляет собой камеру с огнеупорной футеровкой и теплоизоляцией в металлическом каркасе. Реализовано противоточное движение: продукты сгорания движутся навстречу заготовкам, дымоотбор осуществляется со стороны загрузки. Печь работает на природном газе, воздух для горения подогревается до 400 °C, что обеспечивает полное сгорание топлива. Нагрев осуществляется с трёх сторон, печь разделена на пять зон с плоско-пламенными горелками и с индивидуальным регулированием температуры для равномерного прогрева заготовок. Системы подачи газа и воздуха включают трубопроводы с арматурой, фильтрами и КИП. Воздух подаётся вентиляторами и нагревается в рекуператоре за счёт утилизации тепла отходящих газов, что повышает энергоэффективность.

Температурный режим в печи определяется маркой стали и требованиями технологии, при этом в рабочих зонах обеспечивается поддержание температуры в интервале 1000–1300 °C. Важно поддержание небольшого избыточного давления для предотвращения подсоса воздуха и выхода продуктов сгорания. Полнота сжигания контролируется по составу дымовых газов и визуально по пламени [1].

Главная задача существующей АСУТП заключается в поддержании температуры в каждой зоне печи нагрева. Управление всеми параметрами, влияющими на температуру, основывается на показаниях главной термопары в каждой из зон, в роли главной термопары выступает та, показания которой являются максимальными относительно других. Для реализации системы противоаварийной защиты используется контроллер SIMATIC S7-200. АСУ предусматривает автоматический режим работы, разгружающий оператора от постоянного контроля и привлекающий персонал только при угрозе аварии или работе в сложных режимах нагрева.

АСУ контролирует расход воздуха и газа, температуру, давление воздуха и газа. В настоящее время эксплуатируемая система АСУ ТП имеет существенные ограничения. Анализ показал, что измерительная и исполнительная аппаратура обладает значительной погрешностью, что приводит к избыточному расходу природного газа из-за недостаточной точности управления.

Аппаратная часть системы морально и физически устарела, что снижает её надёжность и увеличивает время реакции оператора на отклонения технологического процесса. Кроме того, система не обеспечивает необходимый уровень контроля качества продукции, вследствие чего её характеристики не соответствуют современным производственным требованиям.

Дополнительной проблемой является отсутствие запасных частей и компонентов, так как многие устройства сняты с производства, что затрудняет или делает невозможным их обслуживание и ремонт.

Для устранения указанных недостатков планируется комплексная модернизация системы с заменой измерительной периферии на современные высокоточные датчики, а также обновлением контроллеров противоаварийной защиты и управления технологическим процессом.

Реализация этих мероприятий позволит повысить надёжность системы, снизить потребление природного газа и уменьшить процент брака продукции.

Для разработки системы управления построена функциональная схема автоматического регулирования [2] расхода газа, воздуха горения и температуры, включающая три взаимосвязанных контура, представленная на рисунке 2.

Согласно представленной схеме, с блока «УСТ» поступает задание на контур, которое приходит на блок рассогласования. Полученное рассогласование поступает на ПИ-регулятор («РЕГ ПИ»), формирующий задание на расход газа. Данные о расходе газа передаются в блок соотношения «СГВ». На основе этих данных блок «СГВ» формирует задание на расход воздуха, которое направляется на соответствующий контур управления подачей воздуха.

Одновременно расход газа поступает на блок «Woy», выступающий в качестве объекта управления. Параллельно данные о температуре, снимаемые с датчика «Wтем», участвуют в общем цикле регулирования.

В контуре по стабилизации температуры объектом управления выступает печь. Контур непрерывно сравнивает уставку температуры с её текущим значением, измеренным датчиками. Рассчитанное рассогласование по температуре служит входным параметром для алгоритма управления, который определяет требуемый расход газа для достижения и поддержания заданной температуры.

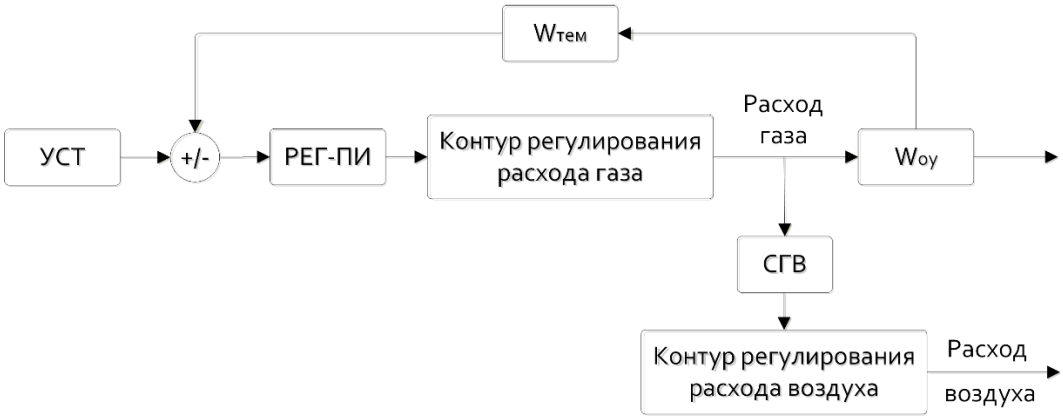


Рис. 2 – Функциональная схема САУ

Разработана структурная схема в среде Simulink Matlab, приведенная на рисунке 3. В качестве регулятора для корректного поддержания температуры и формирования задания для контура по газу выступит ПИ-регулятор. В результате многократного моделирования переходных процессов получены оптимальные коэффициенты настройки регуляторов. Графики переходных процессов можно наблюдать на рисунках 4-6.

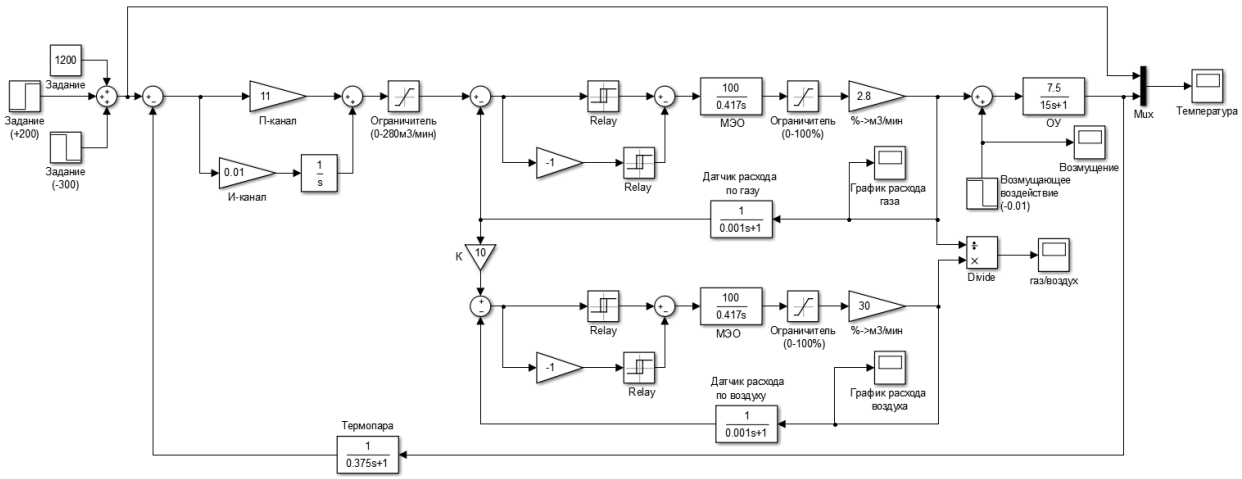


Рис. 3 – Структурная схема САУ

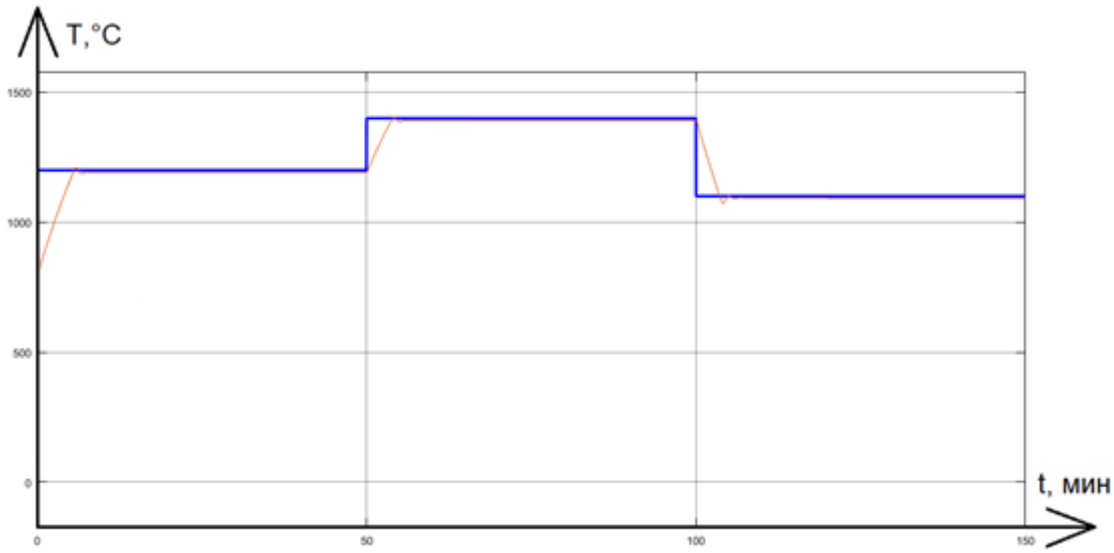


Рис. 4 – График изменения температуры в зоне печи

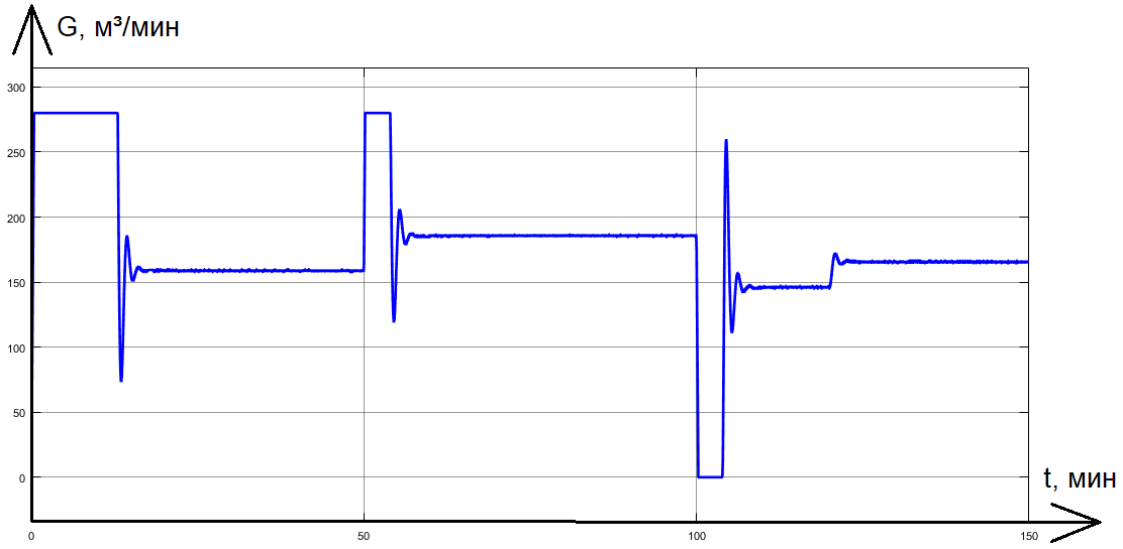


Рис. 5 – График изменения расхода газа

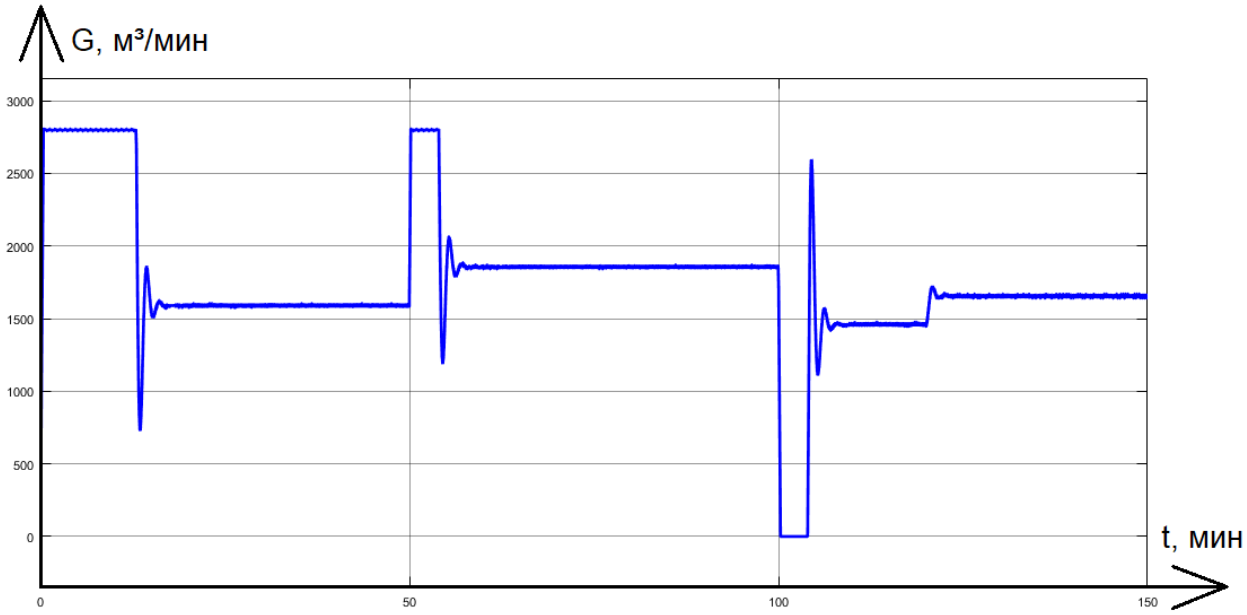


Рис. 6 – График изменения расхода воздуха

По графикам, демонстрирующим работу системы, можно наблюдать, что моделировалась ситуация, при которой начальная уставка равнялась 1200 градусам Цельсия, после чего на пятидесятой минуте произошло увеличение задания до 1400 градусов Цельсия, а ещё через пятьдесят минут задание уменьшилось до 1100 градусов Цельсия. Переходный процесс при изменении задания составлял чуть более десяти минут, без статической ошибки и с перерегулированием, не превышающим одного процента. На сто пятидесятой минуте имитировалась подача возмущающего воздействия, которое система компенсировала за счёт увеличения расхода природного газа и воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буглак Л. И., Вольфман И. Б., Ефрой-мович С. Ю. и др. Автоматизация методических печей. М.: Металлургия, 1981. - 196 е.

2. Полещенко Д.А., Кривоносов В.А. Автоматизация технологических процессов и производств. Методические указания к выполнению лабораторных работ. Старый Оскол, СТИ МИСиС, 2008. – 60 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП УЧАСТКА ПОДГОТОВКИ ВОЗДУХА КРИОГЕННОЙ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ КИСЛОРОДНОЙ СТАНЦИИ АО «ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА»

Жуков М.Р., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Козырь О.Ф.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Кислородная станция АО «ОЭМК им. А.А. Угарова» представляет собой сложный технологический комплекс, предназначенный для обеспечения производственных нужд комбината техническими газами: кислородом, азотом и аргоном. В основе работы станции лежит метод криогенного разделения воздуха (низкотемпературной ректификации), который на сегодняшний день является наиболее эффективным для получения продуктов высокой чистоты в промышленных масштабах.

Технологический процесс получения газов можно разделить на два этапа: подготовка воздуха к разделению и непосредственно разделение. Будем рассматривать первый этап, включающий сжатие и охлаждение атмосферного воздуха. Процессы сжатия воздуха до определенного давления и его дальнейшее охлаждение до технологической температуры ректификации являются ключевыми, во многом определяющими энергоэффективность и производительность всего последующего цикла криогенной сепарации.

Основные требования к параметрам подготовленного воздуха, регламентированные технологическим регламентом кислородной станции, представлены в таблице 1.

Таблица 6 – Технологические параметры подготовленного воздуха

Параметр	Обозначение	Значение	Допустимое отклонение
Давление на выходе из компрессора К-500	P	0,6 МПа	±0,02 МПа
Температура после скруббера ВВО	T	15 °C	±2 °C
Содержание CO_2 в очищенном воздухе	C(CO_2)	≤ 1 ppm	–
Точка росы после БКО	Tp	≤ -70 °C	–

Обобщенная функциональная схема кислородной подстанции представлена на рис. 1.

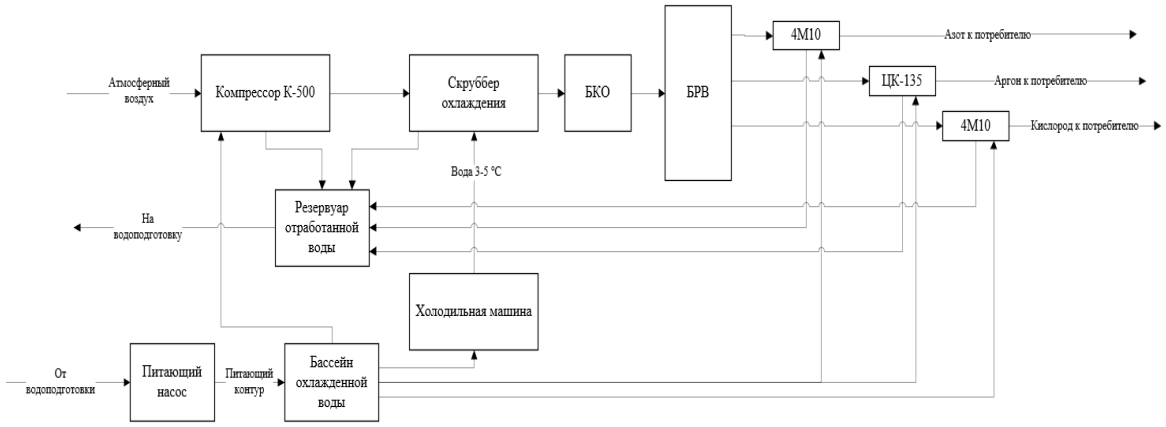


Рис. 1 – Функциональная схема кислородной подстанции АО «ОЭМК им. А.А. Угарова»

Анализ текущего уровня автоматизации участка подготовки воздуха выявил ряд системных недостатков, которые критически влияют на стабильность технологического процесса криогенного разделения. Ключевой проблемой является недостаточная точность поддержания температурного режима.

Критическим недостатком является отсутствие замкнутого контура регулирования температуры воздуха на выходе из скруббера водо-воздушного охлаждения (ВВО). Подача охлажденной воды от холодильной машины в скруббер ВВО осуществляется оператором в ручном дистанционном режиме. Оператор, наблюдая за температурой воздуха на выходе из скруббера, должен вручную изменять положение регулирующей задвижки, чтобы попытаться достичь целевых 15 °С. Такой подход является инерционным, неточным и субъективным.

Нестабильность температуры воздуха, поступающего в блоки комплексной очистки (БКО), напрямую влияет на эффективность адсорбции CO_2 и влаги. Адсорбционная способность цеолитов критически зависит от температуры: ее повышение ведет к резкому падению эффективности очистки. Это, в свою очередь, создает риск проскока примесей в блок разделения, где они могут замерзнуть и заблокировать теплообменное оборудование. Таким образом, несовершенство системы охлаждения ставит под угрозу стабильность работы всего криогенного комплекса. Так же, действующая система управления на участках сжатия и охлаждения воздуха характеризуется неспособностью стабильно поддерживать ключевой технологический параметр температуру на заданном уровне, что требует комплексной модернизации.

Проведенный анализ текущего состояния участка подготовки воздуха выявил ключевое направление для улучшения – отсутствие автоматического поддержания температуры воздуха после скруббера ВВО. Исходя из этого, целью модернизации является создание взаимосвязанной системы управления, которая обеспечит стабильность температурного режима, критически важного для последующих процессов криогенного разделения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Автоматизация процесса охлаждения воздуха в скруббере ВВО:

а. Разработать алгоритм каскадного регулирования температуры воздуха на выходе из скруббера ВВО. Внешний контур должен формировать задание для внутреннего контура расхода охлажденной воды от холодильной машины на основе отклонения текущей температуры от уставки (15 °С). Это обеспечит автоматическое и точное поддержание требуемой температуры без участия оператора.

2. Разработка алгоритмического и программного обеспечения:

а. Разработать детальные алгоритмы функционирования всех контуров управления, включая алгоритмы пуска, останова, штатного регулирования и обработки нештатных ситуаций.

b. Создать или адаптировать существующие формы визуализации (SCADA) для отображения новых параметров, обеспечения удобного интерфейса оператора и возможности контроля за работой модернизированной системы.

Реализация поставленных задач позволит не только устранить выявленные недостатки, но и создать основу для дальнейшего развития автоматизации кислородной станции, повысив ее надежность и стабильность работы.

Контур охлаждения воздуха является ключевым элементом модернизируемой системы, поскольку именно здесь обеспечивается требуемая температура воздуха (15 ± 2 °С) перед подачей в блоки комплексной очистки. Данный контур представляет собой каскадную систему автоматического регулирования (САР), функциональная схема которой представлена на рисунке 2.

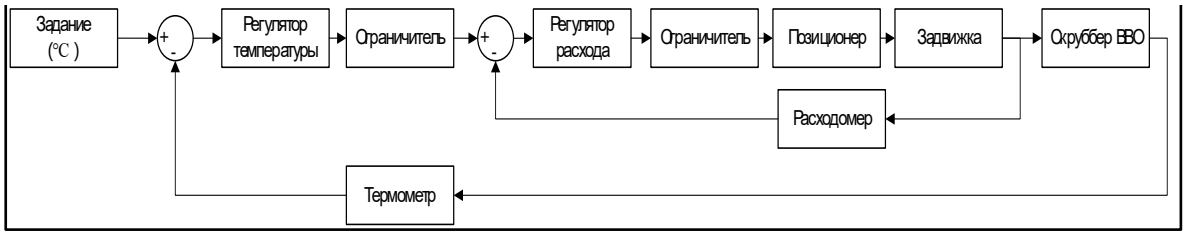


Рис. 2 – Функциональная схема контура охлаждения воды в скруббере ВВО

Это каскадный контур регулирования, где внешний контур регулирования температурой формирует уставку для подчиненного контура регулирования расхода воды. Объектом управления здесь выступает скруббер ВВО, который может быть промоделирован апериодическим звеном первого порядка. Его входом является объемный расход воды охлаждения (м^3/ч), а выходом температура воздуха после скруббера (°С).

Математическая модель контура регулирования температуры воздуха представлена на рисунке 3.

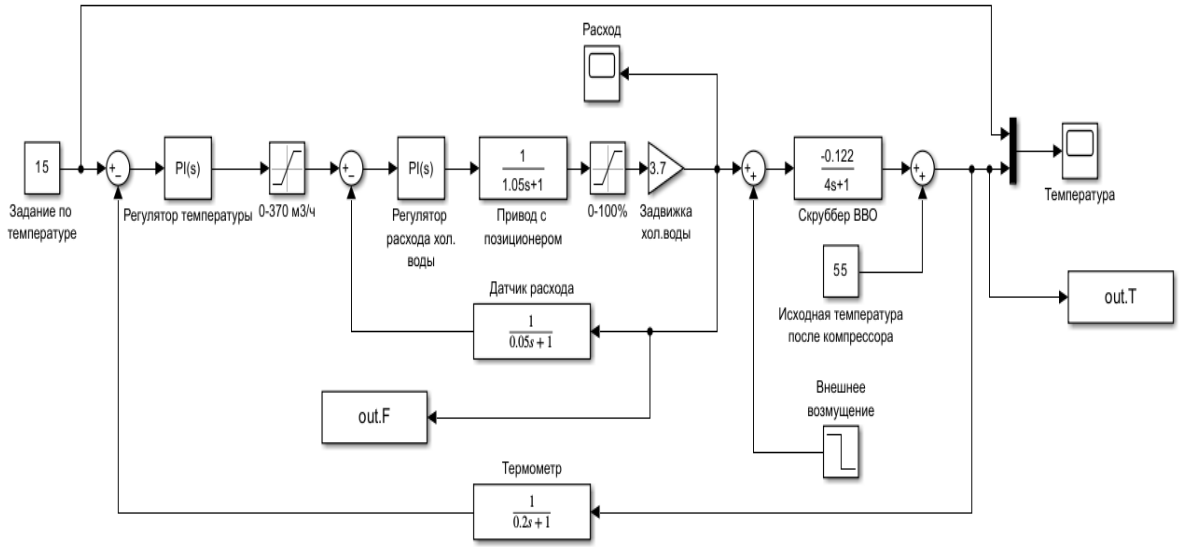


Рис. 3 – Математическая модель контура регулирования температуры воздуха

На основе данной структурной схемы был получен график переходного процесса, отображенный на рисунке 4. Отработку внешнего возмущения можно проследить на графике изменения расхода воды для охлаждения (рисунок 5).

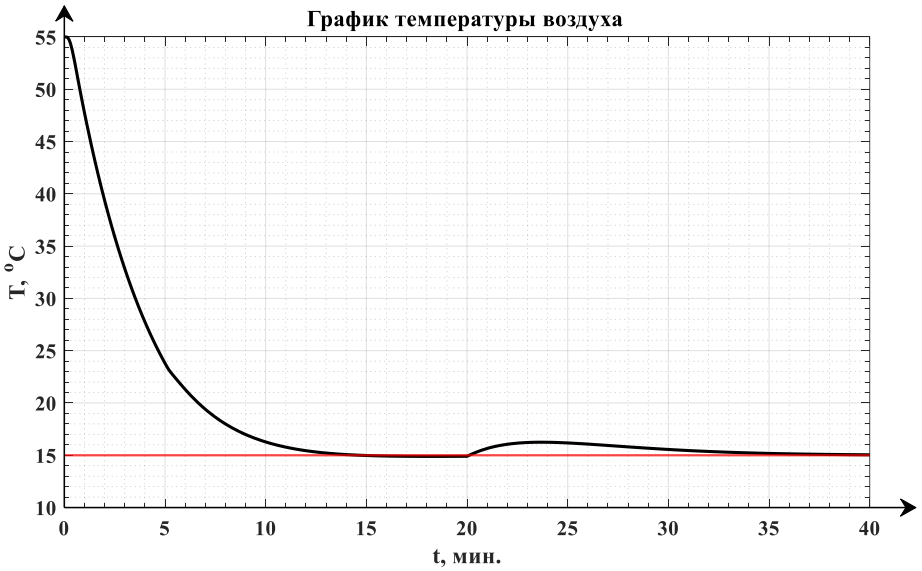


Рис. 4 – График изменения температуры воздуха после скруббера ВВО

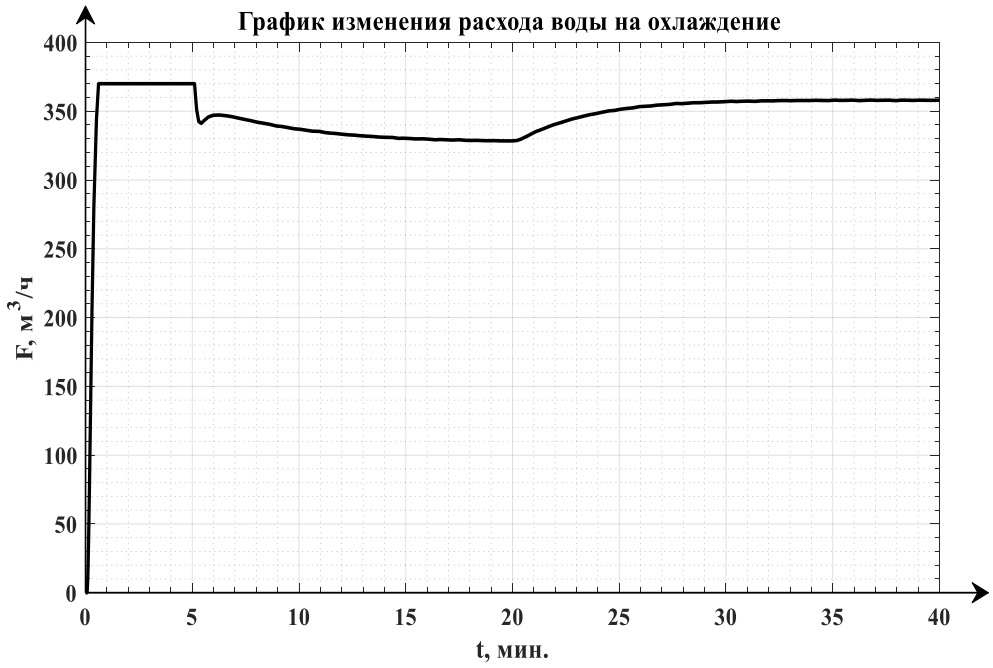


Рис. 5 – График изменения расхода воды на охлаждение

На основе полученных графиков были определены оптимальные значения коэффициента регулятора температуры: $K_П$ равен -8.9, $K_И$ равен -2.5. А также коэффициенты регулятора расхода холодной воды: $K_П$ равен 2.25, а $K_И$ равен 4.66.

Полученный контур управления обладает достаточными показателями качества регулирования, чтобы использовать их как основу для дальнейшего синтеза алгоритмов управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компрессорное оборудование газонаполнительных, воздухоразделительных и передвижных компрессорных станций : учебное пособие / С. С. Бусаров, В. Л. Юша, А. В. Недовенчаный [и др.]. – Омск : ОмГТУ, 2022. – 124 с. – ISBN 978-5-8149-3516-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/343751 (дата обращения: 30.03.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Дадаян, Л. Г. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: учебное пособие / Л. Г. Дадаян. – Уфа: УГНТУ, 2018. – 241 с. – ISBN 978-5-7831-1676-6. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/166886 (дата обращения: 30.03.2026).

3. Гамбург К. С. Методические рекомендации по оформлению домашних заданий, курсовых работ/проектов и выпускных квалификационных работ. Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСиС», 2019. – 46 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП ОБЖИГОВОЙ МАШИНЫ АО «ТХМ-ПРОМПЕЧЬ»

Зимина Д.А., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н, доцент **Кривоносов В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ МИСИС)

В процессе модернизации технологических процессов на производстве главной задачей является автоматизация всех технологических линий и объектов. Усовершенствование автоматизированных технологических процессов должно приводить к высоким показателям самого производства и, как следствие, к высокой конкурентоспособности на мировом рынке. На каждом производстве автоматизация технологических процессов занимает первостепенное место. Контроль технологического процесса, оперативное решение поставленных задач, устранение выявленных ошибок и своевременная замена комплектующих позволяют выполнять производственные задачи и контролировать работу всего производства. Сегодня важно не только автоматизировать производство, но и следовать одной из современных и востребованных тенденций в мире технического прогресса – цифровизации производства [1].

Увеличение производств и цифровизация технологических линий требуют приведения действующих систем автоматизации к современному уровню развития. Уровень работы любого производства определяется аппаратно-технической составляющей системы, что приводит к необходимости замены морально устаревших элементов комплекса технических средств (КТС).

Технологическая линия обжига клинкерного кирпича установлена на предприятии АО «ТХМ-ПромПечь». В печи кирпич находится 66 часов. Максимальная рабочая температура печи составляет 1100 °С. В печи установлены рельсы, по которым передвигаются 12 вагонеток с кирпичом. Конструкция печи представляет собой линию, состоящую из трех сопряженных этапов.

Первый этап - преднагрев продукта, продукты сгорания из топки протягиваются в дымосос, установленный в начале печи. Таким образом, создается поток теплого воздуха в противоход кирпичу.

Второй этап – топка. Здесь происходит обжиг кирпича при 950-1050°С в течении 13-15 часов. Нагрев производится 18 горелками Термофакел 50НВ-300, работающими на природном газе. Топка разделена на 5 зон регулирования. В каждой зоне должна поддерживаться заданная температура. Температура в зонах отслеживается термопарами.

Третий этап – охлаждение. Холодный воздух охлаждает кирпичи и нагреваясь, отправляется в сушило. Охлаждение происходит 6-9 часов, в зависимости от технологического регламента.

В каждой зоне печи поддерживается заданная температура. Температуру задает оператор на операторской станции. Далее задание отправляется в основной программируемый логический контроллер Siemens Simatic S7-1200. Программируемый логический контроллер рассчитывает рассогласование на основе задания и термопары, установленной в печи КТХА01.05-020, после чего рассчитывает необходимый расход газа на зону.

В печи осуществляется регулирование разряжения. В начале и конце печи установлены датчики давления DMP 343-100. На основе их разницы рассчитывается разряжение и регулируется уровень оборотов вентилятора дымососа.

Соотношение смеси природного газа и воздуха также регулируется контуром на основе их текущих расходов. Соотношение задается оператором и поддерживается постоянным. Функциональная схема регулирования автоматического регулирования приведена на рис2.

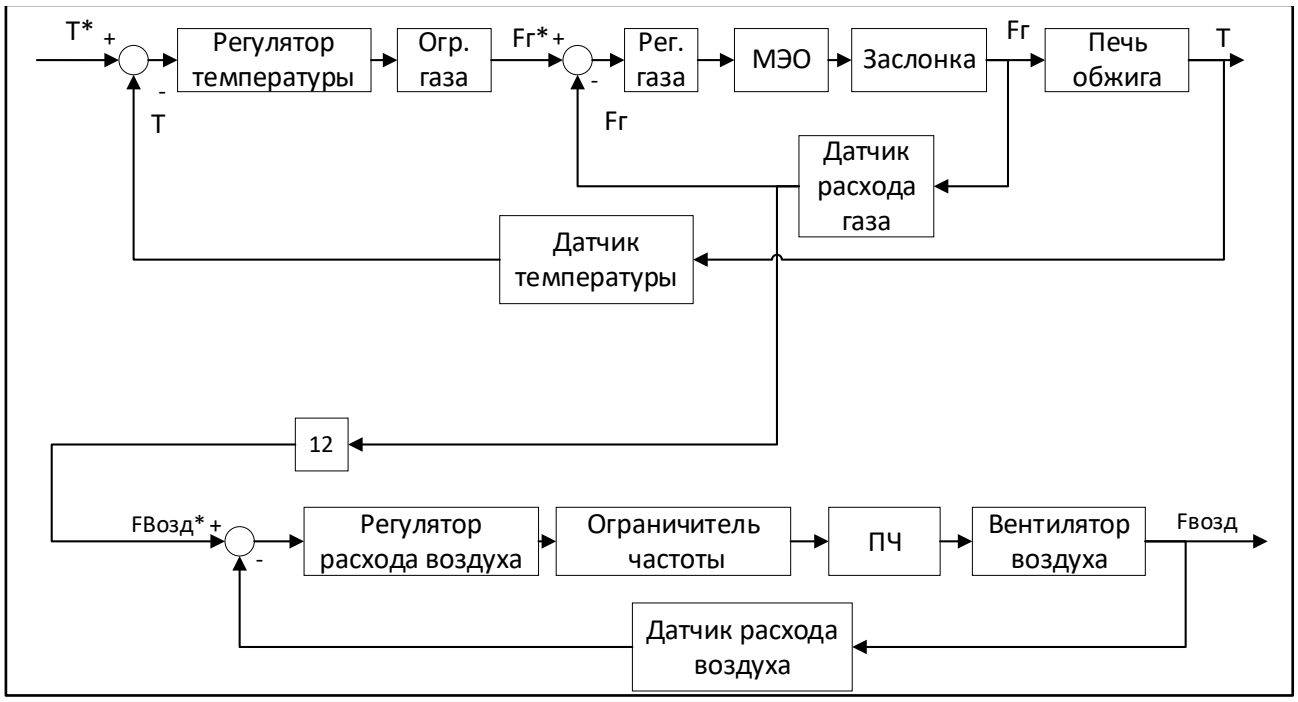


Рис. 1 – Функциональная схема системы

Одним из основных элементов АСУ ТП обжиговой машины является система противоаварийной защиты (ПАЗ). Перед запуском печи опрашиваются датчики давления газа, воздуха, разряжения, датчики наличия пламени. Если какая-то из данных проверок не пройдена, то ПЛК Siemens Simatic S7-1200F прерывает подачу газа и выдает ошибку на панель оператора, а также включается продувка печи воздухом.

В ходе изучения предметной области проекта были выделены недостатки существующего уровня автоматизации:

В газовоздушной смеси горелок соотношение расходов газа и воздуха происходит в полуручном режиме, что негативно сказывается на эксплуатационные характеристики горелок.

Часть датчиков системы управления температурой по своей функциональности устарели, физически изношены и требуют замены на новые, более современные и технологичные.

Целью данного исследования является повышение качества эксплуатационных характеристик АСУТП за счёт регулирования поддержания оптимального соотношения газа и воздуха горелочных устройств путём разработки и внедрения систем автоматического регулирования соотношения расходов газа и воздуха в газовоздушной смеси, исключающий полуручной режим управления.

Основная задача заключается в регулировке соотношения «воздух-газ», которое зависит от качественного состава газа. Данный контур получает уставку, исходя из фактического расхода газа в контуре регулирования температуры и умножает её на приведённое соотношение с воздухом.

Также АСУТП предлагается установка газоанализатора. Данное решение позволит поддерживать оптимальное соотношение газовоздушной смеси.

После анализа текущего состояния объекта предлагается заменить датчики расхода, давления из-за их морального устаревания, а также отсутствия поддержи со стороны зарубежных производителей.

Для настройки контура регулирования температуры была разработана математическая модель в среде Simulink Matlab. Многократное моделирования работы контура позволило подобрать оптимальные значения параметров ПИ-регуляторов. Моделировалась

ситуация, близкая к рабочему процессу. Во время моделирования была сымитирована ситуация, схожая с рабочим процессом. В начальный момент времени в системе была введена уставка 1100˚С. Через 200 минут уставку изменили на 900˚С. Система отреагировала на данное задание, снизив расход природного газа и воздуха. В момент времени 500 минут было сымитировано повышение температуры до 1000 ˚С. Температура в камере печи повысилась. Система отреагировала на данное возмущающее воздействие увеличением расхода газа и воздуха. Графики данного процесса приведены на рисунках 2 – 4.

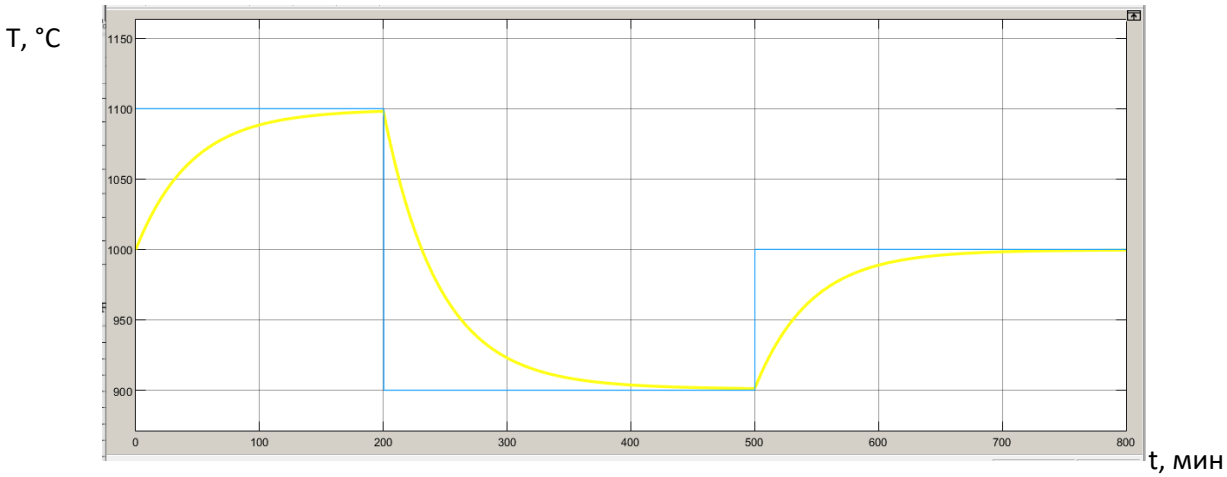


Рис. 2 – График изменения температуры в печи

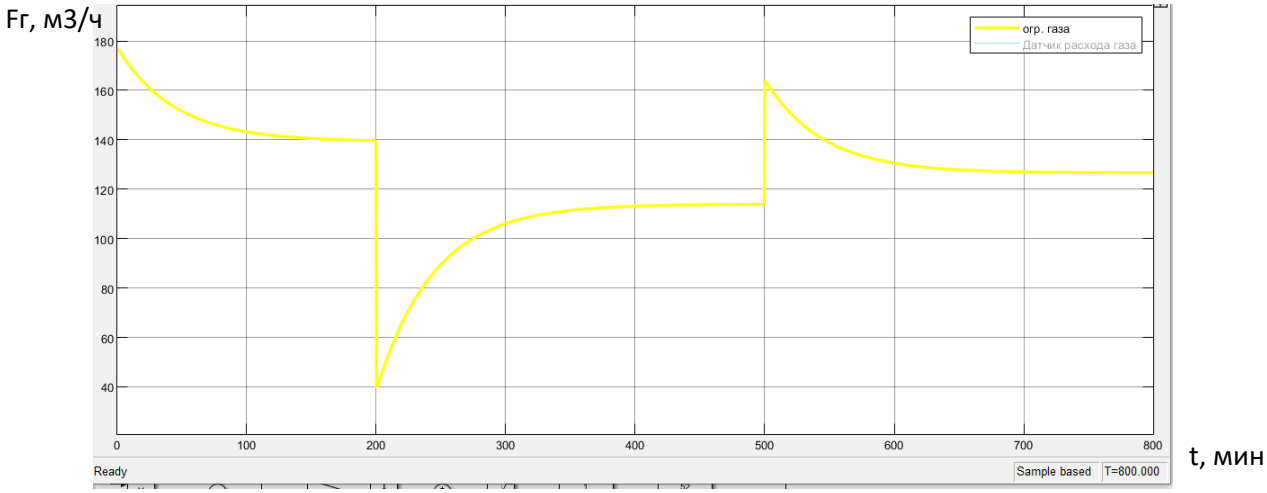


Рис. 3 – График изменения расхода газа

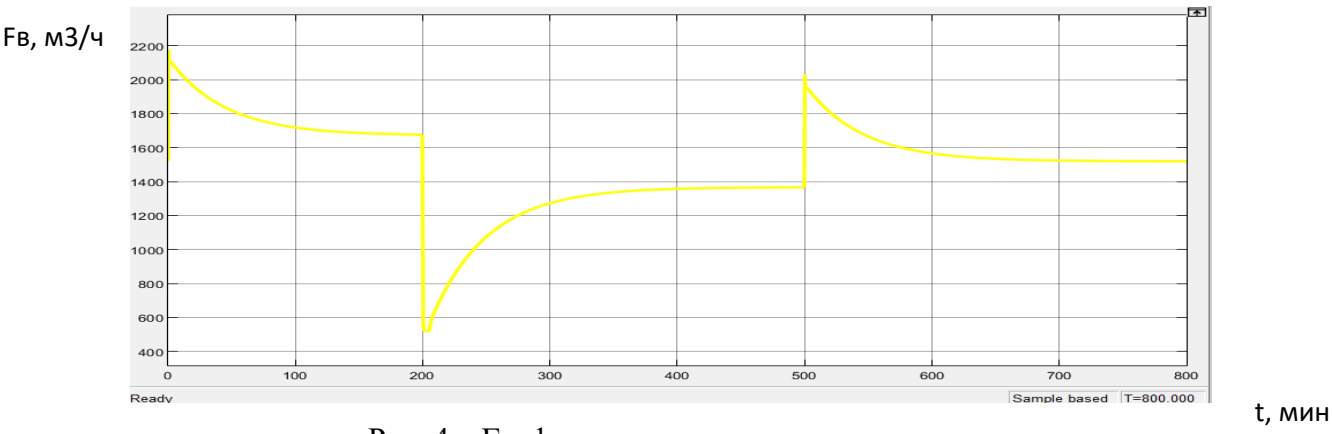


Рис. 4 – График изменения расхода воздуха

Предлагаемая модернизация АСУ ТП объекта позволит сократить расход газа, за счёт настройки регуляторов, обеспечивающих оптимальное качество регулирования газа, воздуха и температуры. Также повышается скорость и качество переходных процессов за счёт обновления комплекса технических средств (КТС) и оптимальной настройки параметров регуляторов. Конечный продукт на выходе будет иметь более низкий процент брака за счёт решения изложенных ранее проблем существующего уровня автоматизации, а использование энергоресурсов предприятия сократится.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Средства автоматизации и управления: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Автоматизация технологических процессов и производств" / Кузнецов В.Н., Кривоносов В.А., Есилевский В.С./ - Старый Оскол: "ТНТ", 2017. – 356 с – Текст: непосредственный.

2. ГОСТ 21.208-2013 Система проектной документации для строительства (СПДС). Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. [Электронный ресурс] – режим доступа - URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/56652/(Дата обращения 24.03.2026).

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП ВОЗДУХА ГОРЕНИЯ ПЕЧИ НАГРЕВА СПЦ-1 АО «ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА»

Зинченко В.А., студент 4 курса
Руководитель работы – к.п.н., доцент **Гамбург К.С.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ МИСИС)

Современная металлургия характеризуется высокой энергоемкостью производственных процессов, в связи с чем вопросы энергосбережения и повышения эффективности работы оборудования приобретают стратегическое значение. Одним из ключевых агрегатов в технологической цепочке стана СПЦ-1 АО «ОЭМК им. А.А. Угарова» являются печи нагрева, предназначенные для термической обработки непрерывнолитой заготовки сечением 300х360 мм длиной до 12 м при температурах до +1280 °С. Эффективность работы печей напрямую зависит от точности и надежности системы управления подачей воздуха горения, которая обеспечивается дутьевым вентилятором.

В настоящее время регулирование подачи воздуха осуществляется прижимной задвижкой (шибером) при постоянной скорости вращения двигателя вентилятора (100 процентов оборотов). Данный метод управления является несовершенным: электродвигатель потребляет электроэнергию, не совершая полезной работы в полном объеме, что приводит к существенным энергетическим потерям [1]. Кроме того, существующая система управления на базе морально и технически устаревших регуляторов Sipart DR24 (снятых с производства, что исключает возможность ремонта) и ПЛК ПАЗ S5-155F (поддержка прекращена) создает риски остановки печи нагрева и получения брака.

В статье рассматривается возможность повышения энергоэффективности и надежности АСУ ТП подечей воздуха горения посредством внедрения частотно-регулируемого привода и модернизации системы управления, направленных на снижение энергопотребления, повышение надежности оборудования и исключения влияния устаревшей элементной базы.

Общая математическая модель рассматриваемого контура регулирования может быть представлена структурной схемой, используемой для имитационного моделирования в среде Simulink Matlab и приведенной на рисунке 1.

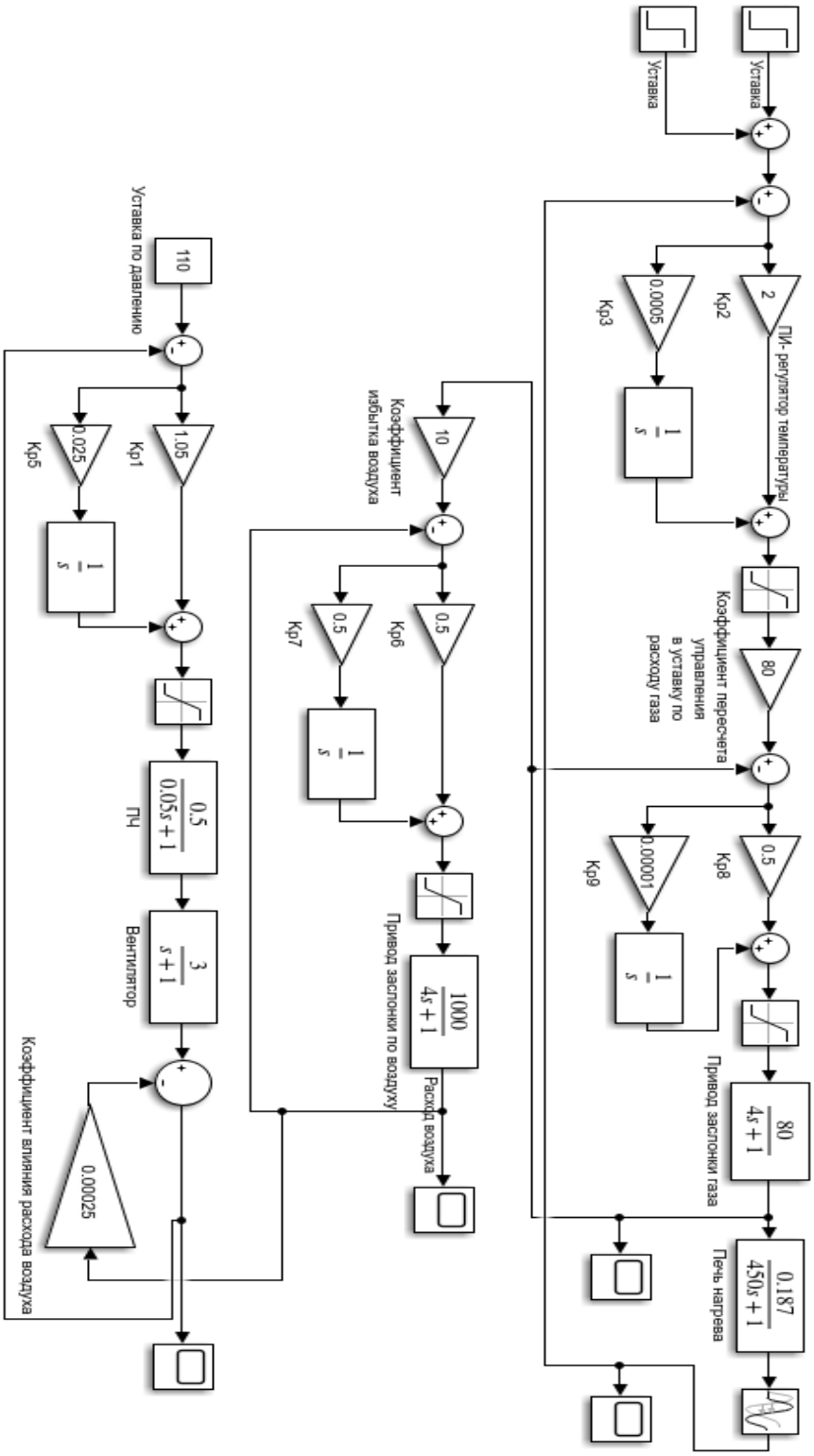


Рис. 1 – Математическая модель

Первый контур: регулятор расхода газа выполнен на основе сервопривода фирмы L. Bernard. В качестве входной величины математической модели исполнительного механизма рассматривается управляющее воздействие с регулятора газа, а в качестве выхода процент открытия газовой задвижки, модель может быть представлена следующей передаточной функцией:

$$W_{\text{им}}(S) = \frac{100}{T_{\text{им}}S + 1}; \quad (1)$$

Второй контур: регулятор расхода воздуха, как и расхода газа, выполнен на основе сервопривода фирмы L. Bernard. При максимальном открытии задвижки (100 процентов) расход воздуха может достигать 100000 м3/час,

Третий контур: регулятор давления воздуха. В качестве входной величины математической модели преобразователя частоты рассматривается управляющее воздействие с регулятора, а в качестве выхода - частота, подаваемая на систему двигатель-вентилятор. Максимальная частота преобразователя 50 Гц

Графики переходного процесса по давлению воздуха горения с частотным регулированием показаны на рисунке 2.

Из полученных графиков переходного процесса по температуре видно, что температура в печи выходит на задание быстро и без перерегулирования.

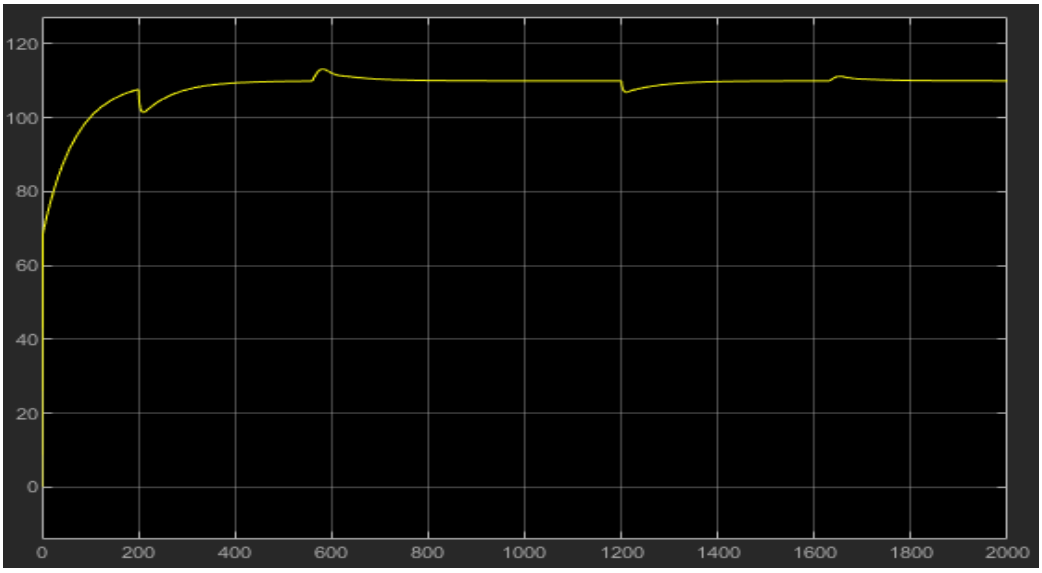


Рис. 2 - График переходного процесса по давлению воздуха

Исходя из результатов моделирования можно сказать что объект адекватно реагирует на изменение задания и возмущения. Переходные характеристики без перерегулирования. Отсюда можно сделать вывод, что построение модели, подбор коэффициентов верны и могут применяться в управлении реальным объектом.

Реализация предложенной модернизации позволит нетолько сократить затраты на электроэнергию и техническое обслуживание, но и значительно повысить срок службы тягодутьевых механизмов за счет плавных пусков, а также обеспечить ремонтопригодность и бесперебойность работы печи нагрева за счет замены неподдерживаемых контроллеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипова В.А Автоматизация металлургических производств / А.В.Осипова, Т.В. Астахова. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008 г. – 81с. -текст непосредственный.
2. Маслов, В.И. Рациональное сжигание газообразного топлива в металлургических агрегатах. / В.И.Маслов, А.А. Винтовкин, Г.М. Дружинин -М.: Металлургия. 1987-112С.-текст непосредственный.
3. Кузнецов, В.Н. Средства автоматизации и управления: учебник/ В. Н. Кузнецов, В.А. Кривоносов, В. С. Есилевский. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 356 с.-текст непосредственный.

МОДЕРНИЗАЦИИ АСУ ТП НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЦЕХА ХВОСТОВОГО ХОЗЯЙСТВА АО «СТОЙЛЕНСКИЙ ГОК»

Иванова Д.С, студент 5 курса
Научный руководитель – к.т.н, доцент **Козырь О.Ф.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»(СТИ НИТУ МИСИС)

Насосной станции оборотного водоснабжения цеха хвостового хозяйства АО «Стойленский ГОК» представляет собой сложный технологический комплекс. Основная задача данного технологического объекта заключается в непрерывной подаче воды на технологические нужды обогатительной фабрики. Объект обязан выдавать в общую магистраль, от которой питаются процессы по обогащению, воду с постоянным уровнем давления в трубопроводе вне зависимости от внешних условий и характеристик поступающей на обогащение рудной массы.

Рассматриваемый технологический объект работает в непрерывном режиме ввиду того, что его полная остановка непосредственно влияет на всю технологическую цепочку комбината. Следовательно, необходимо вести строгий учёт неисправностей, чтобы не подвергать риску срыв технологического процесса СГОКа.

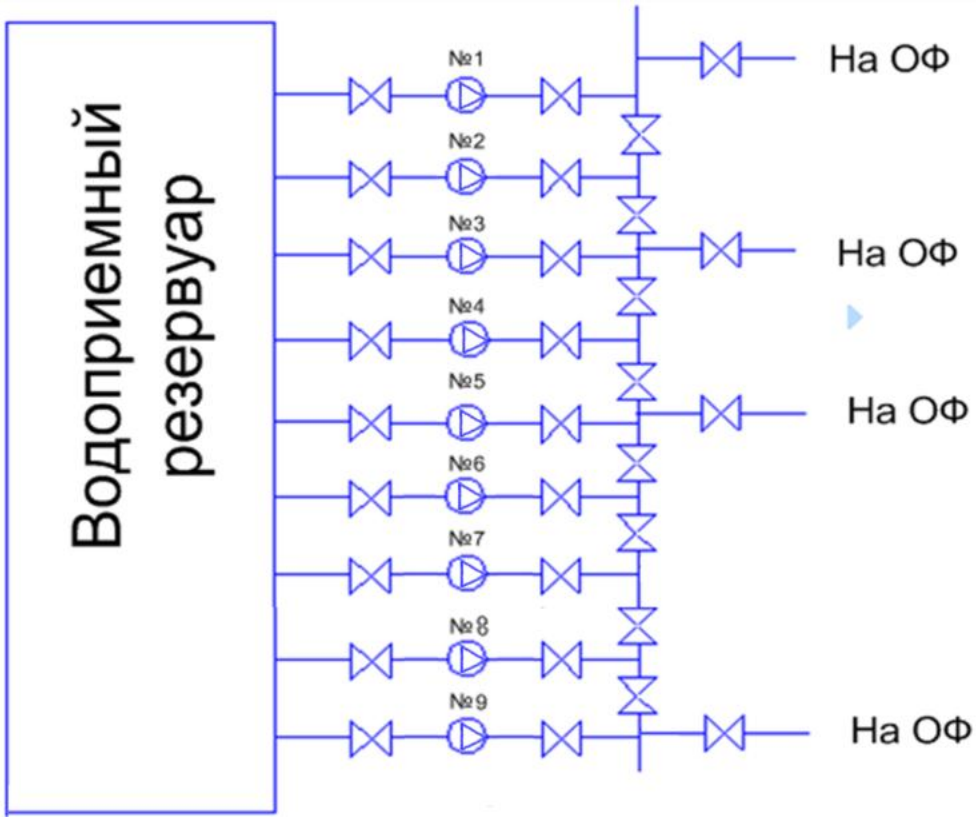


Рис.1 – НОВ

В данный момент времени цеховая АСУ ТП позволяет производить контроль потребления электроэнергии, давления в локальных и магистральных трубопроводах, контроль состояния насосного оборудования и др. Для управления технологическим процессом рабочий персонал использует как местные посты управления, которые располагаются в непосредственной близости от технологического оборудования, так и автоматизированные рабочие места, располагающиеся в постах управления.

Из операторской работник предприятия по средствам формы визуализации может наблюдать за тем, как протекает технологический процесс. На форме визуализации он видит, как работают насосы, какой уровень воды в резервуаре и прочее. Наблюдение за параметрами может осуществляться как в цифровом виде, фактическое значение какого-либо параметра, там и в виде графического тренда за выбранный промежуток времени.

При этом оператор не имеет возможности регулировать давление в трубопроводах путём изменения работы насосных агрегатор, а вынужден это делать путем полного включения или выключения привода насоса или же изменением положением задвижки, установленной около насосного аггрегата. Стоит отметить, что подобный подход к управлению объектом не является оптимальным и несёт за собой множество издержек.

На текущий момент, АСУ ТП НОВ представлена локальными серверами на базе операционной системы Windows XP уже давно не поддерживающаяся производителем, а также программируемыми реле. Аппаратно-технические и программные средства, используемые в настоящее время в АСУ ТП морально устарели, не обеспечивают требуемый уровень надежности и безопасности системы, а также исключают возможность ее интеграции в технологическую сеть комбината.

Отсутствует возможность гибко настраивать логику работы насосных агрегатов, технических и технологических блокировок.

Ограниченная возможность удалённой своевременной диагностики комплекса АСУТП.

Целью модернизации АСУТП НОВ является повышение надёжности работы оборудования АСУТП, расширение возможностей по диагностике оборудования АСУТП, датчиков и исполнительных механизмов, более полная интеграция НОВ в АСУТП ЦХХ. Требуемая задача достигается заменой технических средств автоматизации на более современные, а также изменением программного обеспечения. Для выполнения этой задачи необходимо:

1. Установить контроллеры способные интегрироваться в технологическую сеть нижнего уровня. Программное обеспечение, заложенное в контроллеры в автоматическом режиме, должно контролировать основные технологические параметры и выдать соответствующие предупредительные сигналы.

2. Заменить морально устаревшее оборудование на более современное, отвечающее необходимым требованиям.

В соответствии с планом работ первым этапом будет построении математической модели для контура по поддержанию давления будет служить построение функциональной схемы. Функциональная схема позволяет упрощённо представить будущую модель в виде блоков и крайне удобна для принципиального описания процессов и взаимосвязей, которые должны быть реализованы в итоговой математической модели. Функциональная схема представлена на рисунке 2.

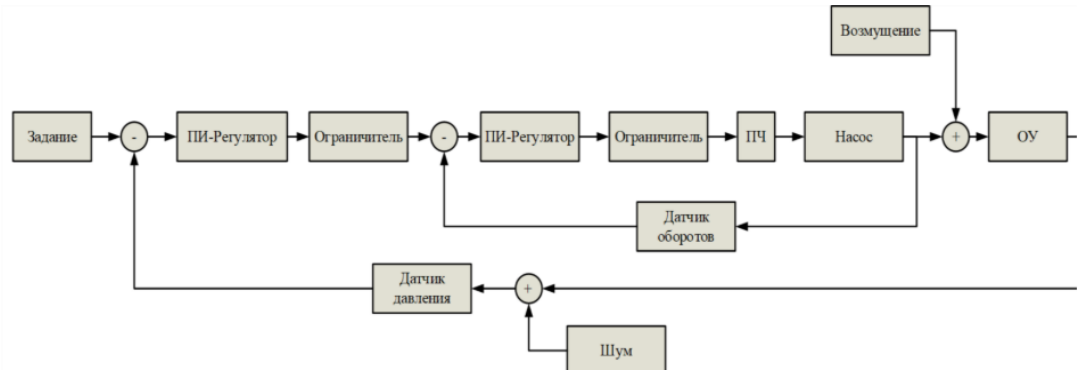


Рис. 2 – Функциональная схема

На основе функциональной схемы была разработана математическая модель представленная на рисунке 3.

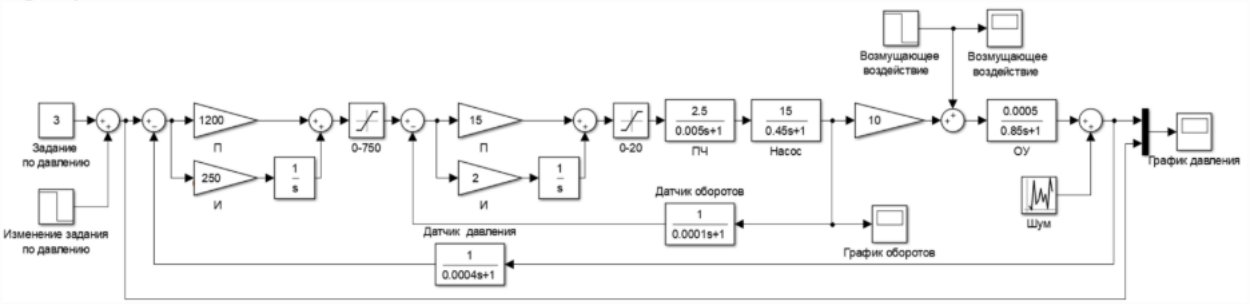


Рис. 3 – математическая модель

На рисунках 4-6 представлены графики переходных характеристик, полученных в математической модели.

Оценивая ход переходных процессов, можно заключить, что система адекватно реагирует на изменения задания путём плавного изменения частоты питающего напряжения. Не наблюдается перерегулирования, значимой статической ошибки, а время переходного процесса вполне корректно для данного объекта управления.

В начале моделирования начальное значение давления в трубопроводе равнялось трём атмосферам. Далее для оценки работоспособности контура на пятой минуте задание по давлению было снижено на половину атмосферы. Регулятор быстро отреагировал на изменение задания путём резкого уменьшения оборотов вала привода, что позволило менее чем за одну минуту выйти на задание.

При этом для оценки того на сколько система может корректно реагировать на внешние возмущения на 10 минуте было подано возмущающее воздействие. Регулятор компенсировал его путём увеличения управляющего воздействия на привод насосного агрегата.

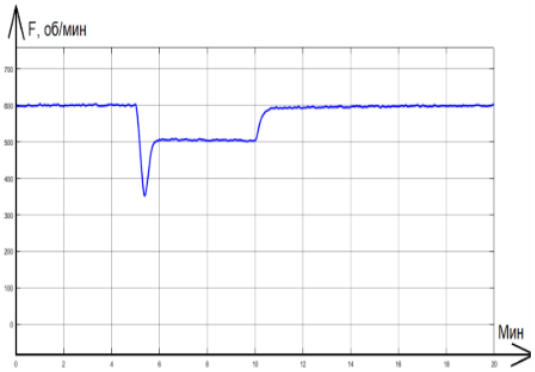


Рис. 4 – График переходного процесса по оборотам

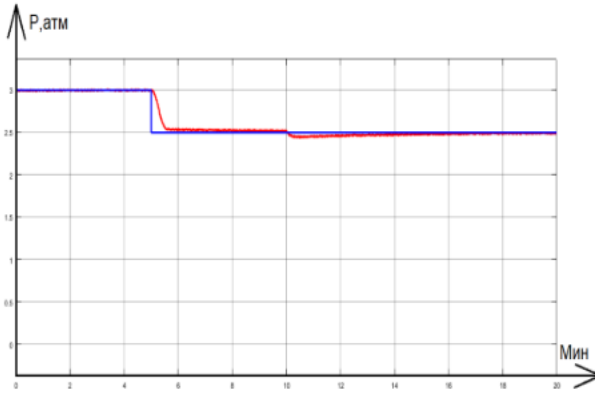


Рис. 5 – График переходного процесса по давлению

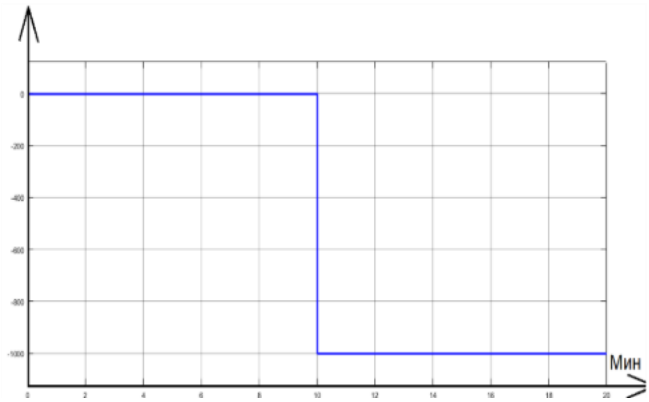


Рис. 6 – Возмущение

Реализация поставленных задач позволит не только устранить выявленные её критические недостатки, но и позволит улучшить качество и экономичность производственного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДИ 086-054-011-2017 Должностная инструкция инженера (по автоматизации) участок АСУТП ЦАМ.
2. ПТИ 086-054-002-2018 Производственно-техническая инструкция электромеханик по ремонту и обслуживанию СВМ УАСУТП ЦАМ.
3. ИОТ 86-115-2017 Инструкция по охране труда для электромеханика по ремонту и обслуживанию счетно-вычислительных машин.
4. СТП ИСМ 00186826-7.5-060-2016 Управление нормативными документами по производственной деятельности. Основные положения.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА КЛИЕНТОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ ЦЕНТРА «РАЗВИТИЕ+»

Калисецкий М. А., студент 4 курса
Научный руководитель – старший преподаватель **Лазарева Т.И.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В современных условиях цифровизации образовательной деятельности ключевым фактором эффективности работы любой организации становится автоматизация административных процессов. Для центров дополнительного образования, где ведётся учёт большого количества клиентов (более 100 семей) и специалистов (до 7 человек), объективный и оперативный контроль посещаемости, расчёта оплаты и загрузки персонала является критически важной задачей.

В настоящее время в центре «Развитие+» (г. Старый Оскол, микрорайон Королёва, 12В) процесс приёма клиентов, учёта посещаемости и формирования расписания осуществляется преимущественно вручную: с использованием бумажных журналов, разрозненных электронных таблиц MS Excel и наличного приёма платежей. Это приводит к дублированию информации о клиентах, сложности поиска свободного времени у специалистов, ручному подсчёту статистики и заработной платы, а также риску потери данных при сбое.

Центр «Развитие+» реализует следующие направления деятельности: раннее развитие, подготовка к школе, иностранные языки, творческие мастерские и психологическая поддержка.

Ключевыми участниками процесса являются:

1. администратор (вводит данные клиентов, записывает на занятия, формирует отчёты);
2. специалист (педагог/психолог — просматривает расписание, отмечает проведённые занятия);
3. клиент (родитель — в перспективе просматривает расписание и историю занятий ребёнка).

Анализ существующей организации процесса выявил следующие недостатки:

1. дублирование информации о клиентах;
2. сложность поиска свободного времени у специалистов;
3. ручной подсчёт статистики и заработной платы;
4. риск потери данных при сбое;
5. отсутствие оперативной информации для родителей.

Разработка информационной системы направлена на повышение эффективности, скорости и объективности работы центра. На рис. 1 представлена контекстная диаграмма процесса.

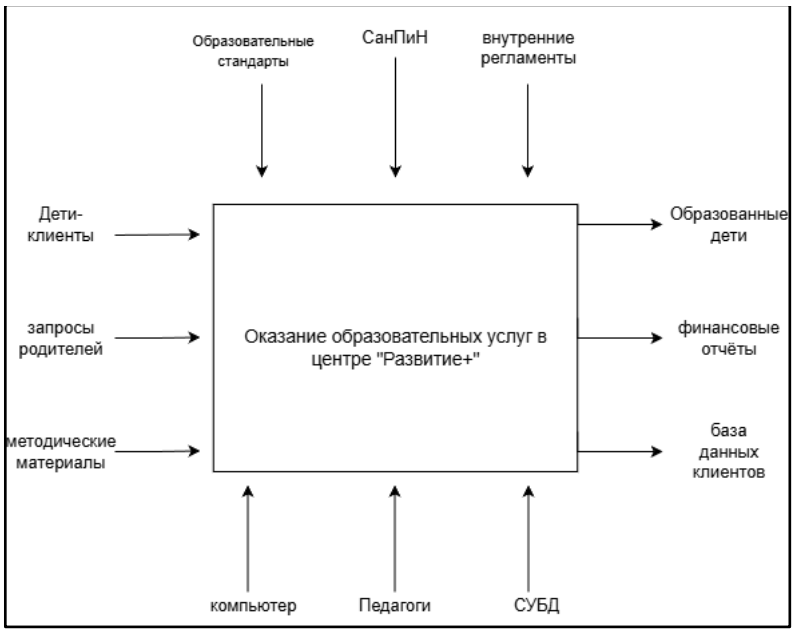


Рис. 1 – IDEF0-модель процесса оказания услуг в центре «Развитие+»

Входными данными процесса являются дети-клиенты, запросы родителей и методические материалы. Управляющими факторами выступают образовательные стандарты, СанПиН и внутренние регламенты центра. В качестве механизмов используются педагоги, администраторы и технические средства. Выходными результатами будут образованные дети, финансовые отчёты и заполненная база данных.

В результате декомпозиции основного процесса были выделены следующие ключевые функциональные блоки:

1. Приём и регистрация клиента.
2. Запись на занятия.
3. Проведение занятий и учёт посещаемости.
4. Финансовый учёт.

Следующим этапом проектирования стало построение диаграммы классов UML, представленной на рис. 2. Она определяет набор сущностей, их атрибуты и отношения между ними, что в совокупности составляет информационную модель разрабатываемой системы.

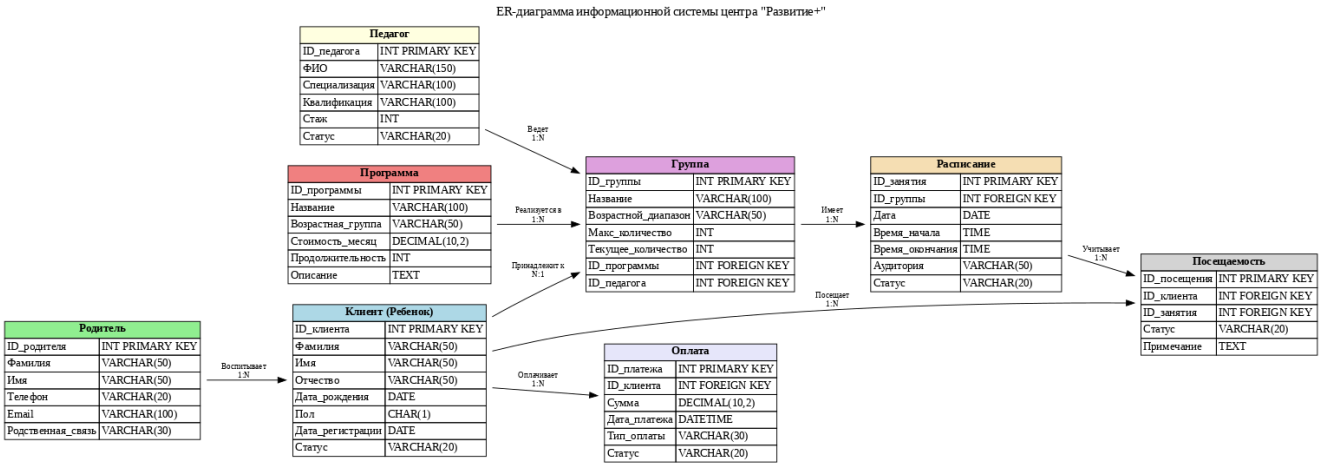


Рис. 2 – Диаграмма классов системы

Ключевые сущности включают: Родитель, Ребёнок (Учащийся), Специалист, Услуга (Направление), Занятие (Расписание), Посещение, Абонемент, Оплата,

Пользователь_системы. Каждый блок выполняет конкретную функцию в системе обработки заявления, установления дат занятий и оценки посещаемости.

Разрабатываемая информационная система реализована как приложение с архитектурой клиент-сервер на платформе Visual Studio с использованием Windows Forms и языка C#. Выбран следующий стек технологий:

- серверная часть: C# + .NET;
- база данных: Microsoft SQL Server;
- фронтенд: Windows Forms (отображение форм и личных кабинетов);
- доступ к данным: SqlDataAdapter, DataSet;
- безопасность: хеширование паролей, разграничение прав доступа.

На рис. 3 представлена форма добавления ребёнка, содержащая поля для ввода ФИО, даты рождения и выбора родителя из выпадающего списка.

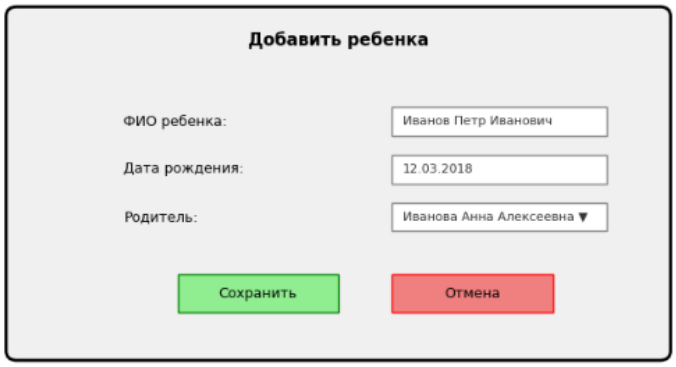


Рис. 3 – Форма добавления ребёнка

После успешной авторизации администратор попадает в главную форму (рис. 4), где может управлять списками родителей, детей, специалистов, расписанием, посещаемостью, абонементами и оплатами.

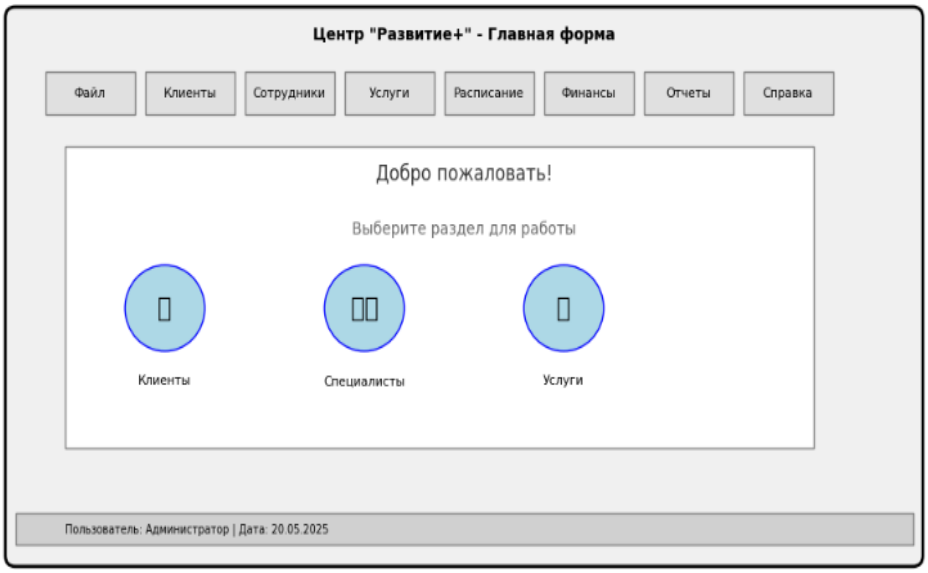


Рис. 4 – Пример главной формы системы учёта

Форма для добавления занятия в расписание (рис. 5) содержит выбор специалиста, выбор услуги, дату и время начала и окончания занятия. При сохранении производится проверка на пересечение занятий у выбранного специалиста.

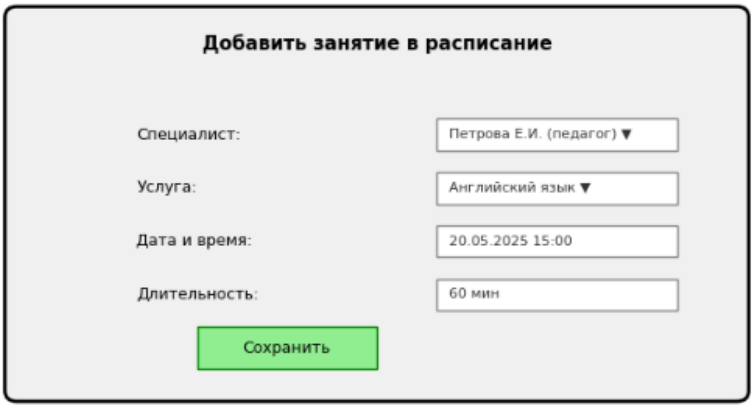


Рис. 5 – Форма добавления занятия

Для специалиста реализован интерфейс отметки посещаемости (рис. 6), включающий список детей, записанных на выбранную услугу, с возможностью поставить отметку о посещении (CheckBox). После сохранения данные попадают в таблицу «Посещение» и автоматически списывается количество занятий в абонементе через триггер.

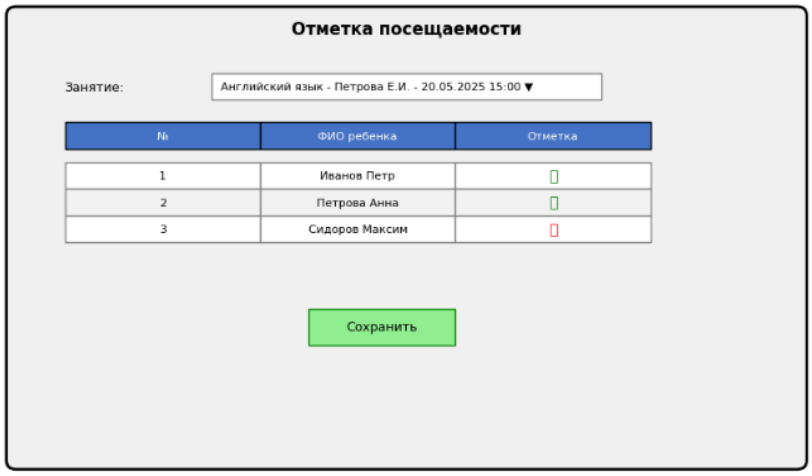


Рис. 6 – Форма отметки посещаемости

В результате разработки информационной системы для автоматизации учёта клиентов и специалистов центра «Развитие+» были обеспечены следующие возможности:

1. централизованное хранение данных о клиентах (родителях и детях);
2. хранение информации о специалистах и предоставляемых услугах;
3. ведение расписания занятий с контролем пересечений;
4. учёт посещаемости с автоматическим списанием занятий из абонемента;
5. хранение данных об абонементах и оплатах;
6. разграничение прав доступа к данным и функциям системы.

Разработанная система позволяет сократить временные и трудовые затраты сотрудников центра, минимизировать риск арифметических ошибок, повысить объективность учёта посещаемости, а также создать единую базу данных для последующего анализа загрузки специалистов и популярности программ. Предложенное решение может быть адаптировано для других центров дополнительного образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буч Г., Рамбо Дж., Джекобсон А. Язык UML. Руководство пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 496 с.
2. Леоненков А.В. Самоучитель UML. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 304 с.

3. Робертсон Дж., Робертсон С. Современные методы анализа бизнес-процессов. – М.: Весть-МетаТехнология, 2017. – 288 с.

4. Советов Б. Я., Цехановский В. В. Базы данных: теория и практика. – М.: Юрайт, 2023.

5. Троелсен Э., Джепикс Ф. Язык программирования C# и платформы .NET и .NET Core. – М.: Вильямс, 2020.

6. Гагарина Л. Г., Киселев Д. В., Федотова Е. Л. Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем. – М.: Форум, 2021.

7. Дата К. Дж. Введение в системы баз данных. – М.: Вильямс, 2019.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА EXELNS ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ АО «СТОЙЛЕНСКИЙ ГОК»

Калистратова А.Г., студент 4 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Моторина Н.П.**
Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Рассмотрена возможность модернизация электропривода (ЭП) шламового насоса EXELNS обогатительной фабрики (ОФ) Стойленского горно-обогатительного комбината (СГОК). Двигатель насоса ДАЗ04-450У-8 рассчитан на работу 24/7 при сохранении номинальных параметров и имеет воздушную систему охлаждения при процессах самовентиляции. В горячих цехах и на открытом воздухе исполнение У1 с воздушным охлаждением через теплообменник «воздух-воздух» является критичным. В процессе работы насоса важно контролировать вязкость и плотность перекачиваемой пульпы. Превышение концентрации твердых частиц в пульпе приводит к перегрузке двигателя и срабатыванию тепловой защиты. Для двигателя по технологии возможны остановки и аварийные режимы при заклинивании рабочего колеса насоса от попадания крупных камней в шлам. В таких случаях возникает режим «опрокидывания» двигателя, сопровождаемый аварийными токами порядка пусковых значений, существует опасность выгорания изоляции при затягивании времени срабатывания аппаратов защиты[1, 2].

Приведем технические характеристики шламового насоса (Таблица 1)[3].

Таблица 1 – Технические характеристики насоса EXELNS

Параметр	Значения
Производительность, $м^3/ч$	800-1377
Напор, м	30
КПД насоса, %	79
Удельный вес перекачиваемой пульпы, кг/л ($кг/м^3$)	1,44 (1440)
Расчетная гидравлическая мощность насоса, кВт	163

Насос приводит в движение высоковольтный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Технические характеристики двигателя приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики электродвигателя ДАЗ04-450У-8 [1, 2].

Параметр	Значения	Параметр	Значения
Номинальная мощность, кВт	500	Кратность пускового тока (Iп/Iном)	5,0
Синхронная частота вращения, об/мин	750	Кратность максимального момента, (Ммах/Мном)	2,2-2,3
Номинальное напряжение, кВ	6	Класс изоляции	F
Номинальный ток, А	62	Высота оси вращения, мм	450
Номинальное скольжение, %	1,33	Степень защиты	IP54
КПД, %	94,7	Число полюсов	8
Коэффициент мощности	0,84	Режим работы	S1

cos φ			
Кратность пускового момента (Мп/Мном)	1,2	Момент инерции, кг· м^2	50

Рассмотрим внешний вид электродвигателя установки. На рисунке 1 приведен вид высоковольтного асинхронного двигателя ДАЗ04-450У-8.

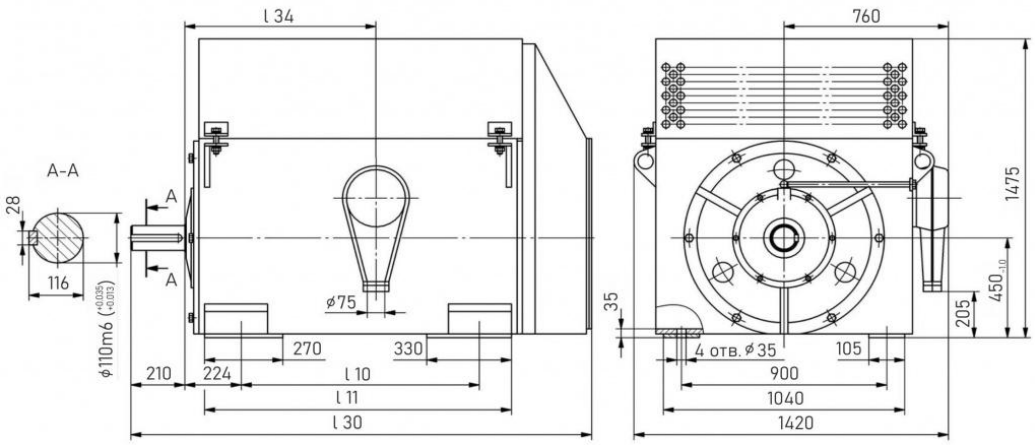


Рис. 1 – Схема установки ДАЗ04-450У-8

Выполнен расчет момента при номинальной мощности двигателя. Определена частота и угловая скорость вращения ротора из значения номинального скольжения и синхронной частоты вращения. Определен номинальный момент двигателя, равный статическому моменту $M_{ном}$=6434,6 Н·м, при этом учитывалась номинальная частота вращения ротора $n_{ном}$=742 об/мин. В существующей установке осуществляется прямой пуск двигателя, который сопровождается резким импульсом динамического момента при включении вакуумного выключателя в высоковольтной ячейке 6 кВ.

При анализе работы двигателя в процессе регулирования гидравлическим дросселированием (понижение давления напора жидкости) задвижкой (искусственное увеличение гидравлического сопротивления в напорном трубопроводе) выявлены недостатки:

- высокие пусковые токи;
- «просадки» напряжения в сети 6 кВ цеха;
- сокращение срока службы изоляции обмоток двигателя;
- динамические удары в механической системе насоса и двигателя;
- сложность регулирования; потери мощности 40-60% при дросселировании;
- снижение энергетических параметров при изменении плотности / вязкости шлама;
- гидравлические удары при пуске / останове;
- возможные повреждение футеровки насоса, уплотнений;
- повышенная вибрация, риск разрыва сварных швов трубопроводов.

В связи с этим требуется частое техническое обслуживание, ремонт насоса и электродвигателя.

В работе предлагается использовать высоковольтный двигатель ДАЗО4М2-ЧР 13-500-8-6,0 АБ1Б2 У1 1М1001 (предназначен для работы с преобразователем частоты) с муфтой на раме и преобразователь частоты ЭСН-800/6/15-6-100КУХЛ4 [2, 3]. В таблице 3 приведены технические характеристики высоковольтного двигателя.

Исходя из полученной мощности, был выбран асинхронный двигатель с номинальными параметрами: $P_{ном}$ = 500 кВт, $n_{ном}$ = 742 об/мин; $\eta_{ном}$=94%. По номинальным параметрам скорости и мощности определили номинальный момент вращения по выражению (1):

$$M_н = \frac{9{,}55 \cdot P_н}{n_н}. \qquad (1)$$

Величина номинального момента составила 6464,6 Н·м. Далее по выражению (2) определена величина потребляемой полной мощности:

$$S_{ном} = \frac{P_н}{\cos\phi_{100} \cdot \eta_{100}}, кВ \cdot А. \quad (2)$$

Величина полной мощности составила 682 кВ·А.

Величина номинального тока определяется по выражению (3):

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_н}, А \quad (3)$$

Величина номинального тока статора составила 65,6 А. Далее были определены остальные необходимые параметры двигателя и составлена схема замещения одной фазы двигателя. Электродвигатель насоса работает в режиме *S1* продолжительной нагрузки и температура нагрева его достигает установившегося значения. Для неизменной статической нагрузки достаточно выполнение условия $\boxed{P_c \le P_{ном}}$ [3, 5].

Таблица 3 – Технические характеристики электродвигателя ДАЗО4М2-ЧР

Параметр	Значения
Номинальная мощность, кВт	500
Номинальное напряжение, кВ	6
Синхронная частота вращения, об/мин	750
Номинальная частота вращения, об/мин	742
Кратность максимального момента (Ммах/Мном)	2,2-2,3
КПД при 100% загрузке, %	94
КПД при 75% загрузке, %	81,5
Коэффициент мощности cos $\varphi_н$	0,78
Номинальное скольжение	0,011
Момент инерции, кг·м^2	15

По результатам расчетов параметров схемы замещения была построена естественная механическая характеристика в пакете Mathcad, которая обладает достаточно высокой жесткостью во всем рабочем диапазоне, что соответствует требованию привода шламового насоса. Для выбранного двигателя рассчитаны параметры Т-образной схемы замещения двигателя. На рисунке 2 приведены параметры двигателя для моделирования прямого пуска[5].

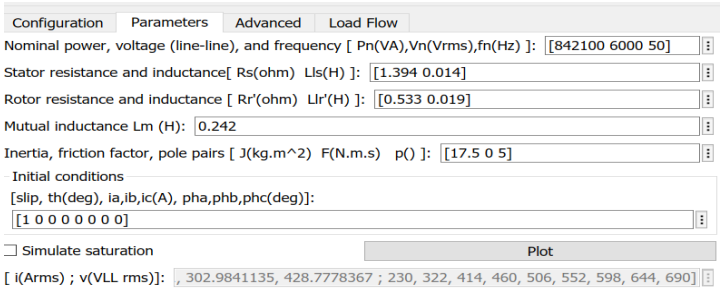


Рис. 2 – Параметры двигателя

Составлена модель прямого пуска двигателя (рис.3) и выполнено моделирование в пакете MATLAB/Simulink прямого пуска двигателя с последующим плавным увеличением момента нагрузки до максимальных величин. При моделировании были получены графики

изменения тока статора, изменения электромагнитного момента, изменения скорости ротора двигателя во времени.

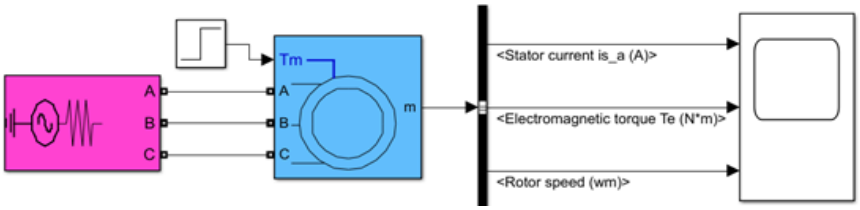


Рис. 3 – Модель двигателя в Matlab/Simulink

Сравнение результатов моделирования, расчетных параметров и каталожных данных двигателя показало адекватность выполненной модели двигателя[3-5].

На следующем этапе выполнен расчет параметров модели частотного преобразователя: напряжения в звене постоянного тока; амплитуды гармоники пульсаций напряжения; емкость конденсатора в блоке DC Bus, чтобы уменьшить пульсации напряжения. Одновременно решался вопрос выбора метода управления.

АЭП со скалярным управлением получили наибольшее распространение. Их используют в механизмах, в которых необходимо удерживать на определенном уровне скорость вращения вала электродвигателя, либо какого-то технологического параметра. Скалярное управление (частотное) – метод управления АД, который реализуется таким образом, чтобы отношение напряжение/частота (В/Гц) поддерживалось постоянным во всем рабочем диапазоне скоростей.

Частота выступает в качестве независимого воздействия, а напряжение при определенной частоте определяется видом механической характеристики, а также значениями критического и пускового моментов. Благодаря такому управлению обеспечиваются такие характеристики, как неизменный критический момент, который не зависит от частоты напряжения, но при довольно низких частотах может произойти значительное снижение момента, развиваемого двигателем. Максимальное значение диапазона скалярного управления, при котором возможно осуществление регулирования значения скорости вращения ротора электродвигателя, без потери момента сопротивления не превышает 1:10.

В связи с квадратичным характером нагрузки двигателя, выбирается закон регулирования $\frac{U}{f^2}$. В модели асинхронного электропривода со скалярной системой управления и пространственно векторной ШИМ задание на скорость используется для определения напряжения и частоты инвертора при поддержании постоянного соотношения. В состав модели входят: регулятор скорости, пространственно векторный модулятор, трехфазный выпрямитель, емкостный фильтр, трехфазный инвертор[3-5].

Для исследуемого объекта был рассмотрен метод широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Содержимое блока Spase Vector PWM VS induction Motor Drive служит для генерации управляющих сигналов для силовых ключей инвертора, которые, в свою очередь, формируют на выходе инвертора переменное напряжение с регулируемой частотой и амплитудой. Метод широтно-импульсной модуляции с векторным управлением позволяет минимизировать пульсации момента и снизить гармоники в выходном напряжении, обеспечивая плавную и эффективную работу асинхронного двигателя. Блок включает в себя алгоритмы расчета вектора напряжения, соответствующего требуемой скорости и моменту, а также формирование последовательности импульсов для управления коммутацией полупроводниковых ключей. Применена защита от резонансных частот, которая дополнительно повышает надежность системы, предотвращая работу двигателя на частотах, способных вызвать повреждения механических компонентов.

Блок Speed Controller отвечает за формирование желаемой скорости вращения ротора асинхронного двигателя. Он получает сигнал задания от скорости (например, от оператора или внешней системы управления) и сравнивает его с реальной скоростью, измеренной датчиком.

На основе разницы между желаемой и фактической скоростью, блок Speed Controller формирует управляющий сигнал (например, напряжение или ток), который затем используется в системе управления преобразователя частоты для регулирования выходной частоты и, соответственно, скорости двигателя. Это позволяет точно поддерживать заданную скорость, компенсировать изменения нагрузки и обеспечивать оптимальный режим работы привода[3-5].

Выполнен выбор и расчет системы управления электродвигателем, моделирование ее работы в Matlab/Simulink. Результаты экспериментов позволяют сделать вывод о том, что выбранная система полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системе управления насосным агрегатом.

Выводы. Анализ существующей системы показал нерациональность использования метода гидравлического дросселирования, что приводило к значительным потерям энергии (порядка 40-60%) и ускоренному износу оборудования.

Применение комплекса, состоящего из частотно-регулируемого электродвигателя ДАЗО4М2-ЧР и преобразователя частоты ЭСН-800, позволило:

1. Исключить механические удары и снизить пусковые токи до номинальных значений.
2. Обеспечить экономию электроэнергии за счет регулирования скорости насоса в зависимости от плотности шлама.
3. Повысить надежность системы за счет внедрения встроенных защит ПЧ (от резонанса, перегрузок и т.д.).
4. Обеспечить возможность интеграции с АСУ ТП комбината через протокол Modbus RTU, что соответствует современным требованиям к автоматизации.

Результаты расчетов подтверждают целесообразность перехода на частотно-регулируемый привод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каталог по асинхронным двигателям серии ДАЗО и их модификациям [Электронный ресурс] // Электротехнический портал.– Режим доступа: https://energo1.com/catalog/elektrodvigateli_asinkhronnye/elektrodvigateli_serii_dazo/17164/?srsltid=AfmBOoqd8oXW7x8FvDvBr8tvKVCRUBakcYXsYzxQrDtKSR7OsiSpRZOZ (дата обращения:15.03.2026).–Текст непосредственный.
2. Руководство по эксплуатации высоковольтного двигателя ДАЗО4М2-ЧР13-500-8-6,0АБ1Б2У1 1001,2025г. –М.: ООО «Сибирский электротехнический завод».–Текст непосредственный.
3. Руководство по эксплуатации шламового насоса EXELNS металлофутерованный, 2016 г. – М.: «EXELNS».– Текст непосредственный.
4. Руководство по эксплуатации преобразователя частоты серии ЭСН, 2022 г.– М.: ООО «ЭКРА».– Текст непосредственный.
5. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. — М.: Академия, 2006. – 265 с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ И ИНФОРМЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ СТИ НИТУ «МИСИС»

Камел Ф. М., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., ст. преподаватель **Жуков П.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Объектом исследования является система организационной и информационной поддержки иностранных студентов Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова, филиала НИТУ «МИСИС». Деятельность университета включает образовательный процесс, сопровождение учебных программ, административное обслуживание, управление академическими потоками, общежитиями и документами обучающихся.

В последние годы количество иностранных студентов в российских вузах значительно увеличивается, что требует повышения уровня цифровизации и автоматизации сервисов, обеспечивающих их адаптацию. Студенты сталкиваются с трудностями при получении академической, административной и бытовой информации. ВУЗ предоставляет большое количество данных на различных платформах (сайт, портал, социальные сети), что усложняет их поиск и приводит к потере важной информации.

Рост числа студентов требует улучшения сервисов, предназначенных для их поддержки. Это связано с тем, что многие студенты сталкиваются с проблемами в адаптации из-за языковых и культурных барьеров, а также отсутствия знаний о структуре университета и внутренней организации. Решение этих проблем необходимо для обеспечения успешной интеграции иностранных студентов в университетскую жизнь.

На сегодняшний день, студенты сталкиваются с необходимостью поиска информации в различных источниках, что приводит к потере важной информации. Например, им нужно проверять несколько платформ, таких как сайт университета, портал, социальные сети (например, Telegram, MAX, VK или MS Teams), что вызывает путаницу и затрудняет взаимодействие с университетом. Эти проблемы создают дополнительные барьеры для студентов и делают их образовательный процесс менее эффективным.

В условиях цифровизации образования важно создать интегрированную систему, которая обеспечит доступ ко всей информации через единую точку входа.

Цели и задачи исследования

Целью исследования является разработка интерактивного многоязычного чат-бота (Telegram), который будет выполнять следующие функции:

1 служить единой точкой доступа к обучающей, административной и бытовой информации;
2 предоставлять структурированный FAQ на нескольких языках;
3 интегрироваться с расписанием университета;
4 обеспечивать персональные уведомления о событиях и дедлайнах;
5 иметь модуль обратной связи с администрацией;
6 обеспечивать доступ к навигации по кампусу;
7 работать 24/7 и поддерживать высокую производительность.

Анализ современных подходов к решению поставленной задачи

Проведя анализ доступных на рынке средств реализации чат-ботов был предоставлен следующий результат тезисно:

1 Готовые конструкторы чат-ботов – это современные платформы позволяют создавать функциональных ботов, способных обрабатывать текстовые команды, кнопочные интерфейсы, меню, интегрировать базы данных и веб-API;

2 Наиболее распространённая платформа – Telegram Bot API;

3 Языки программирования: Python: библиотеки aiogram, python-telegram-bot, богатая экосистема для NLP;

4 Методы обработки информации: использование структурированных баз данных для хранения расписания, профилей;

5 NLP-модули для обработки естественного языка (при расширении функционала);

6 интеграция с внешними API (университетские API, средства Yandex или Google);

Многие российские и зарубежные университеты внедряют ботов, но большинство ограничены функционалом. Использование уже существующих решений от других учебных заведений невозможно по ряду причин:

1. Проприетарный характер разработок, при котором ВУЗы не намерены делится своей интеллектуальной собственностью бесплатно;

2. Различие в подпроцессах адаптации иностранных студентов. Из-за масштабов ВУЗа, его финансового обеспечения и других факторов, процессы взаимодействия иностранных студентов со структурой учебного заведения могут значительно отличаться.

Таким образом, предполагается, что актуальным будет собственная разработка под индивидуальный характер работы СТИ НИТУ «МИСИС».

Архитектура предлагаемого решения

В рамках исследования была спроектирована и реализована следующая архитектура будущего решения в рамках решаемой задачи (рис.1).

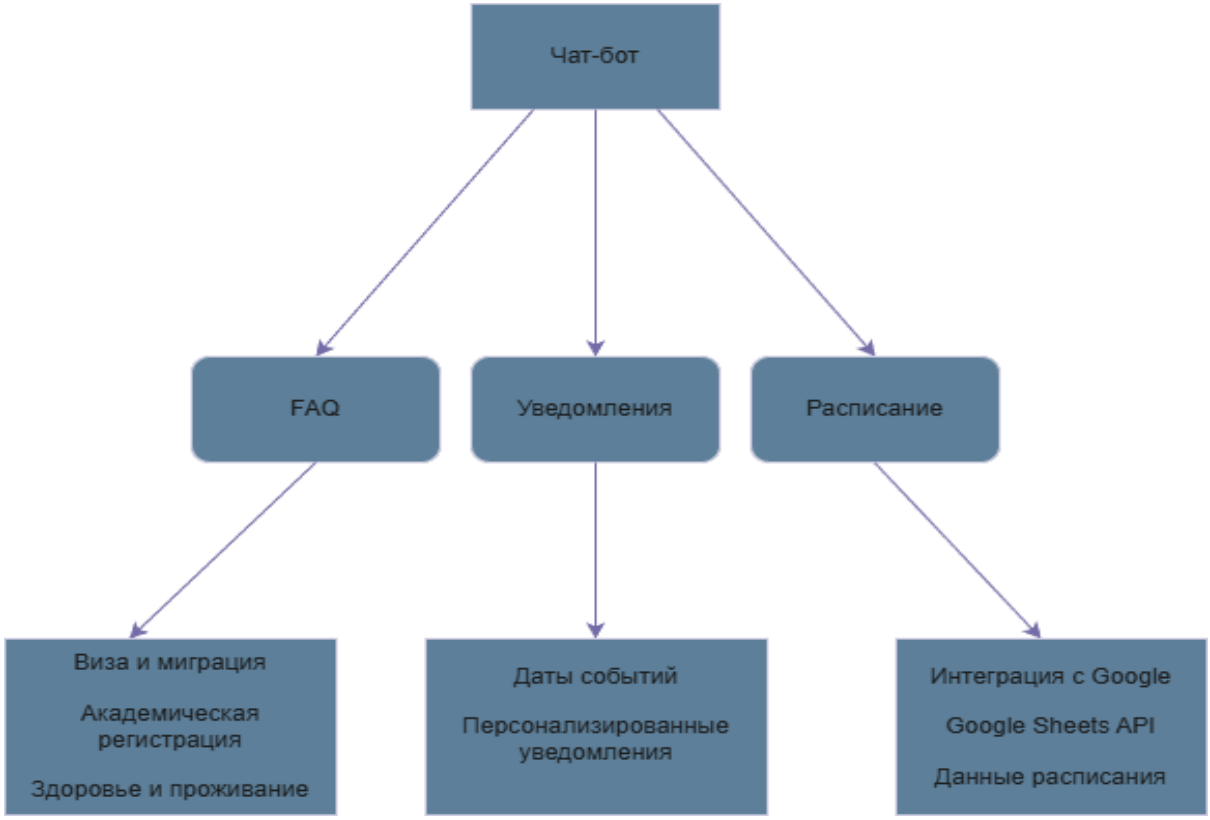


Рис. 1 – Архитектура предлагаемого решения

Основой будущей системы будет являться база данных, сущностная схема которой приведена, в соответствии с форматом C4, на рисунке 2.

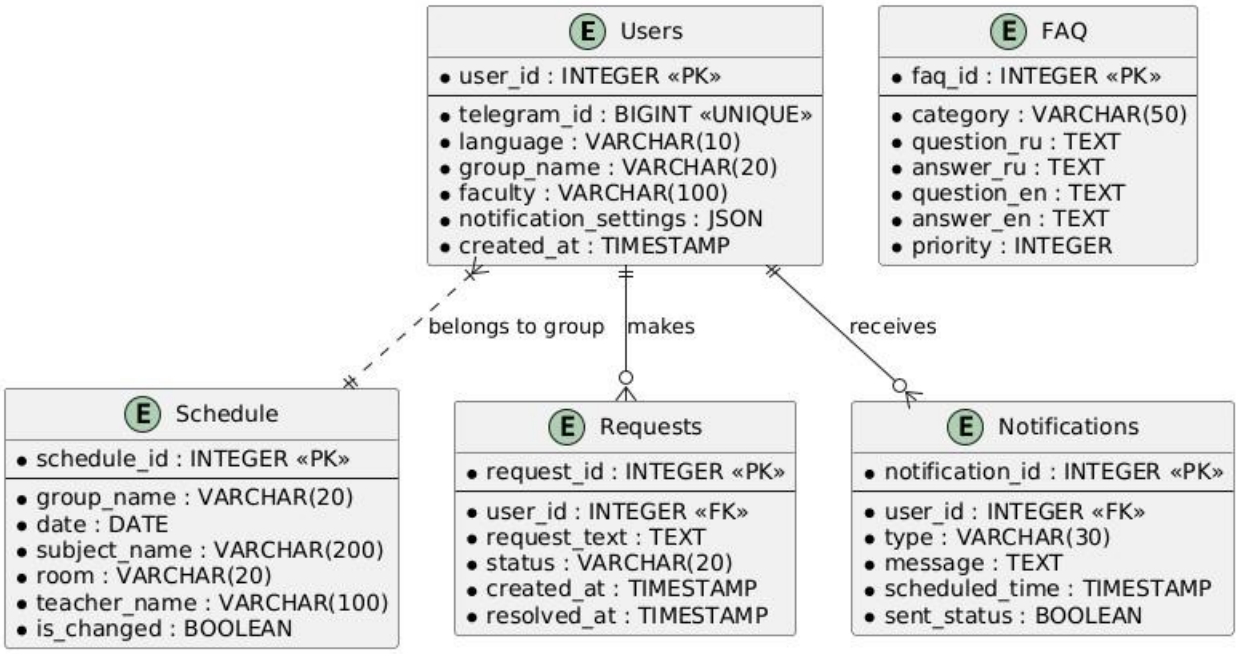


Рис 2 – Сущностная схема пространства данных

Также были смоделированы сценарии взаимодействия студента с будущей системой. На рисунке 3 представлена для примера диаграмма последовательности для запроса расписания на следующий учебный день.

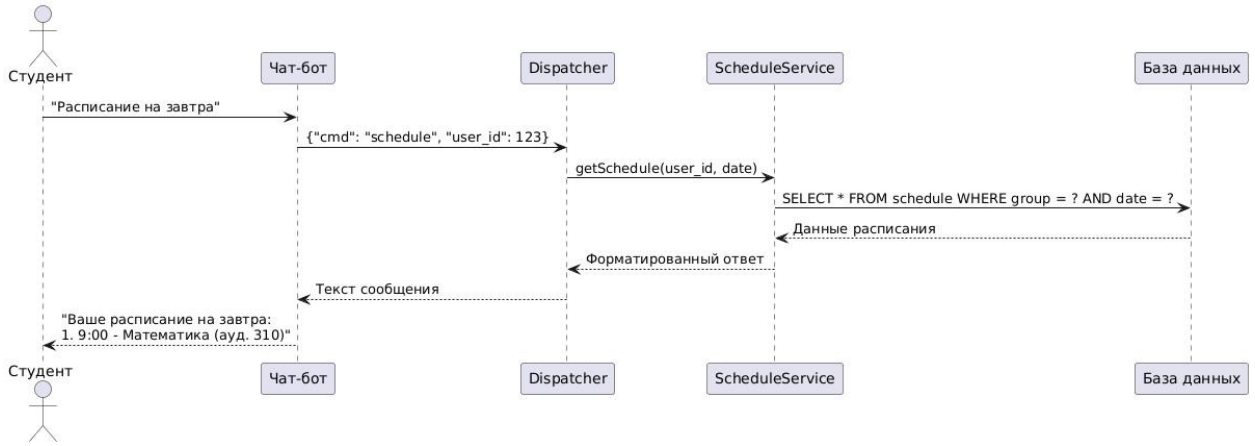


Рис. 3 – Пример смоделированной диаграммы последовательностей по функции

Общие функции будущей системы были структурированы в рамках модели вариантов использования (рис.4).

Краткое описание ролей пользователей:

1. Иностранный студент – основной пользователь системы. Получает расписание, задаёт вопросы через FAQ, использует переводчик, настраивает уведомления, обращается в администрацию.
2. Администратор бота – сотрудник университета, который управляет контентом (FAQ, расписание, новости), просматривает статистику запросов и отправляет массовые уведомления.

3. Сотрудник деканата – имеет ограниченный доступ: может отвечать на обращения студентов и обновлять контактную информацию.

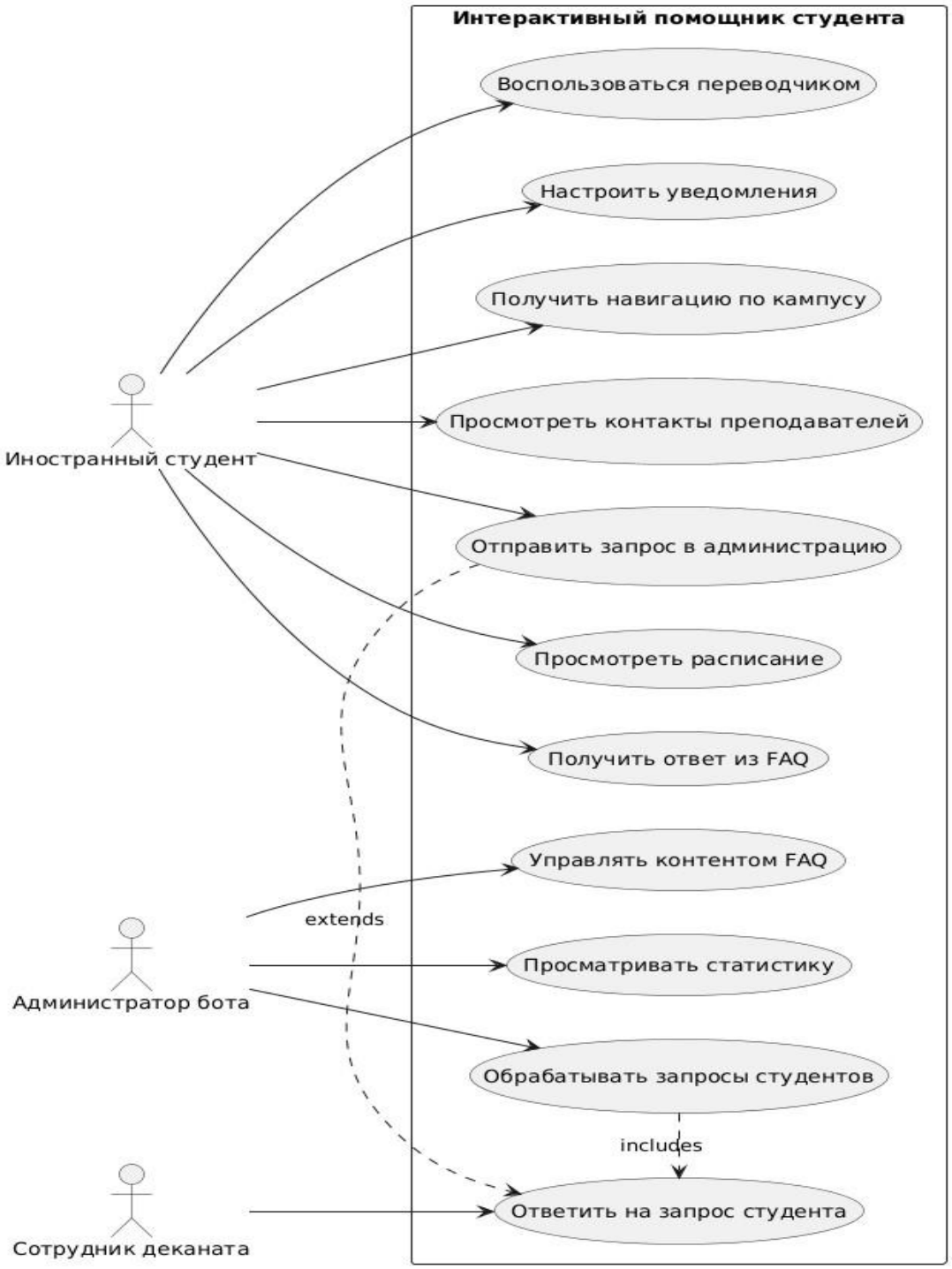


Рис. 4 – Проектирования распределения ролей в будущей системе

Основные функции системы (из рис. 4):

1. Просмотр расписания (на день, неделю, месяц) – основная функция системы, позволяющая иностранному студенту спланировать учебный процесс;
2. Поиск ответов в многоязычном FAQ – вспомогательная функция, которая позволяет иностранному студенту устранить локальное недопонимание во взаимодействии с ВУЗом;

3. Автоматический перевод сообщений – функция, которая позволяет автоматически переводить сообщения с заранее определенных языков иностранных студентов на русский язык;

4. Настройка и получение уведомлений о дедлайнах – вспомогательная функция, предназначенная для создания уведомлений для иностранного студента о сроках сдачи работ и других активностей;

5. Обратная связь с администрацией – вспомогательная функция, предназначенная для реализации обратной связи с администрацией ВУЗа;

6. Навигация по кампусу

7. Смена языка интерфейса (русский/английский)

Заключение

Суть исследования заключалась в анализе проблем информационного взаимодействия иностранных студентов с вузом и разработке единого цифрового решения – многоязычного чат-бота в Telegram.

В результате исследования были получены следующие результаты:

1. Построены модели бизнес-процессов IDEF0 и BPMN, выявлены основные недостатки текущей системы.

2. Спроектирована архитектура системы на основе Telegram Bot API, Python (aiogram), PostgreSQL и MongoDB.

3. Разработаны ER-диаграмма, UML-диаграммы (вариантов использования, классов, последовательности).

4. Реализованы ключевые модули: FAQ, расписание, переводчик, уведомления, навигация.

Практическое значение работы состоит в возможности внедрения, разработанного чат-бота в реальную эксплуатацию в Старооскольском технологическом институте. Ожидаемый эффект – снижение нагрузки на сотрудников на 50%, сокращение времени ответа на запросы студентов, повышение удовлетворённости иностранных студентов качеством информационной поддержки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ФЗ-152 «О персональных данных» от 27.07.2006 № 152-ФЗ.

2. Гагарина Л.Г. Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем / Л.Г. Гагарина. – М.: Форум, 2019. – 384 с. – текст: непосредственный;

3. Вендров А.М. Проектирование программного обеспечения / А.М. Вендров. – М.: Финансы и статистика, 2018. – 560 с. – текст: непосредственный;

4. Официальная документация Telegram Bot API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://core.telegram.org/bots (дата обращения: 10.04.2026). – текст: электронный;

5. Документация aiogram [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.aiogram.dev (дата обращения: 10.04.2026). – текст: электронный

РАЗЛИЧИЯ ИОННОЙ И ИОННО-РЕЛАКСАЦИОННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВРЕМЯ РЕЛАКСАЦИИ.

Кижаев Я.Р., студент 1 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Мякотина М.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В материалах электронной техники диэлектрики занимают особое место: они используются в конденсаторах, подложках интегральных схем, изоляции кабелей и СВЧ-устройствах. Ключевой характеристикой диэлектрика является его способность к поляризации - ограниченному смещению связанных зарядов под действием внешнего электрического поля. Именно поляризация определяет диэлектрическую проницаемость ε, температурную и частотную стабильность свойств, а также уровень потерь. В зависимости от природы носителей заряда и их взаимодействия с кристаллической решёткой различают несколько механизмов поляризации: электронную, ионную, дипольную (ориентационную), ионно-релаксационную, электронно-релаксационную, миграционную и др. В данной статье мы подробно рассмотрим два механизма, которые часто путают начинающие исследователи, - ионную (упругую) и ионно-релаксационную поляризации. Их различие принципиально для понимания работы диэлектриков в переменных полях разной частоты и температуры. Кроме того, введём понятие времени релаксации - фундаментальной характеристики неупругих поляризационных процессов.

Ионная поляризация наблюдается в твёрдых диэлектриках с ионной кристаллической решёткой (например, NaCl, KCl, MgO, $BaTiO_3$ в параэлектрической фазе). Её механизм заключается в упругом смещении положительных и отрицательных ионов из положений равновесия под действием электрического поля. При этом: ионы удерживаются в узлах решётки силами химической связи (кулоновскими и короткодействующими отталкивательными); смещение очень мало (доли ангстрема) и прямо пропорционально напряжённости поля E; после снятия поля ионы мгновенно возвращаются в исходные положения - отсутствует запаздывание (релаксация).

Время установления $\tau \sim 10^{-12}$ -10^{-13} с (оптический диапазон частот). Поэтому она существует вплоть до инфракрасных частот ($\approx 10^{13}$ Гц). Температурная зависимость слабая: с ростом температуры тепловое расширение решётки несколько уменьшает упругие силы, но ε(T) меняется плавно (обычно ±0,01%/°C у термостабильной керамики). Отсутствие потерь энергии в идеальном случае - поляризация синфазна полю. В реальности при высоких частотах возникает небольшое трение, но оно ничтожно по сравнению с релаксационными механизмами. Вклад в ε составляет от нескольких единиц до ~20-30. Типичные материалы, где доминирует ионная поляризация: корунд (Al_2O_3), стеатит ($MgSiO_3$), форстерит (Mg_2SiO_4).

Ионно-релаксационная поляризация возникает в диэлектриках с ослабленной структурой - аморфных (стёкла, полимеры), дефектных кристаллах, материалах с примесями, в ионных проводниках вблизи температуры фазового перехода. Её носители - не все ионы решётки, а лишь те, которые слабо связаны: примесные ионы в междоузлиях; вакансии, по которым могут перемещаться собственные ионы; ионы в разупорядоченных областях (например, в стекле $Na_2O \cdot SiO_2$ ионы Na^+ легко мигрируют).

Механизм: под действием поля слабосвязанные ионы совершают термически активированные перескоки из одного равновесного положения в соседнее, преодолевая потенциальный барьер U. Поскольку перескок - вероятностный процесс, поляризация нарастает не мгновенно, а экспоненциально с характерным временем релаксации τ. Отличительные черты: ярко выраженная частотная дисперсия ε' и ε''; наличие диэлектрических потерь (максимум на частоте $\omega = \frac{1}{\tau}$); сильная температурная зависимость: при нагреве τ резко уменьшается, что сдвигает дисперсию в область высоких

частот; вклад в ε может быть очень большим (сотни и тысячи) из-за дальнодействующего смещения ионов в неоднородной структуре.
Примеры: ситаллы, стеклокерамика, рутил (TiO_2) с восстановленной решёткой, диэлектрики с примесями щелочных металлов.

Таблица 7 – Различия между ионной и ионно-релаксационной поляризациями

Признак	Ионная поляризация	Ионно-релаксационная поляризация
Тип связи ионов	Упругая, ковалентно-ионная в узлах решётки	Слабая, диффузионная (дефекты, примеси)
Зависимость от температуры	Слабая, почти линейная	Сильная, экспоненциальная ($\tau \propto e^{\frac{U}{kT}}$)
Частотный диапазон	До 10^{13} Гц (ИК-граница)	Низкие и средние частоты (10^{-2} - 10^{9} Гц)
Потери энергии	Практически отсутствуют	Значительные, релаксационный пик
Наличие времени релаксации τ	Нет ($\tau \to 0$)	Да, τ конечно (10^{-10} - 10^{-2} с и более)
Вклад в диэлектрическую проницаемость	Малый (ε ~ 5-30)	Часто большой (ε до 1000)
Природа смещения	Когерентное, все ионы	Индивидуальные перескоки дефектов
Гистерезис	Отсутствует	Возможен при низких частотах

Самое главное отличие: ионная поляризация - упругое смещение всех ионов без потерь (мгновенный отклик), а ионно-релаксационная - диффузионное перераспределение дефектов с потерями и запаздыванием.

Время релаксации τ - это время, за которое поляризация (или концентрация неравновесных носителей) уменьшается в e ≈ 2,718 раз после выключения поля. Для экспоненциального процесса:

$$P(t) = P_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (1)$$

Физический смысл: τ характеризует инерционность поляризационного механизма. Если период переменного поля T >> τ - поляризация успевает полностью следовать за полем (статический режим). Если T << τ - поляризация не успевает установиться ($\varepsilon' \to \varepsilon_\infty$). При $T \approx \tau$ возникают максимальные потери. В модели Дебая для одного времени релаксации: Диэлектрическая проницаемость

$$\varepsilon'(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1+\omega^2\tau^2}; \quad (2)$$

фактор потерь

$$\varepsilon''(\omega) = \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_\infty)\omega\tau}{1+\omega^2\tau^2}. \quad (3)$$

Максимум ε'' при ωτ = 1, откуда

$$\tau = \frac{1}{\omega_{max}}. \quad (4)$$

Таким образом, измерив частоту максимума tg δ, можно определить τ. Для реальных материалов часто наблюдается распределение времён релаксации (формулы Коула–Коула, Гаврильяка–Негами).

Время релаксации зависит от микроструктуры и внешних условий. Основные факторы:

1. Температура

Зависимость скорости химических реакций и активационных процессов (в том числе времени релаксации) от температуры устанавливает Закон:

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{\frac{U}{kT}}, \quad (5)$$

где U - энергия активации перескока иона, k - постоянная Больцмана, τ_0 – предэкспоненциальный множитель (~10^{-12} - 10^{-14} с, период колебаний решётки). Физический смысл закона Аррениуса - с ростом температуры экспоненциальный множитель уменьшается, следовательно, время релаксации τ резко сокращается. В координатах ln τ от 1/T зависимость имеет вид прямой линии, наклон которой пропорционален энергии активации.

2. Энергия активации U

Чем выше U (более прочная связь дефекта), тем больше τ. U зависит от: заряда иона и его радиуса; диэлектрической проницаемости матрицы (экранование); наличия пустот и каналов в структуре.

3. Концентрация и тип дефектов

При высокой концентрации дефектов возможно взаимодействие (образование кластеров), которое изменяет эффективный U. Для сильно разупорядоченных стёкол характерно широкое распределение τ.

4. Внешнее давление

Механическое сжатие уменьшает межатомные расстояния, повышает потенциальные барьеры - τ растёт. Эффект заметен лишь при давлениях > 1 ГПа.

5. Влажность (для пористых диэлектриков)

Адсорбированная вода создаёт дополнительные проводящие пути и может уменьшать τ за счёт протонной проводимости.

Знание природы поляризации позволяет инженеру целенаправленно выбирать диэлектрики: высокочастотная техника (СВЧ, КВЧ) - требуются материалы только с ионной (и электронной) поляризацией - малые потери. Пример: поликор (Al_2O_3), BeO, AlN. Введение примесей, вызывающих ионно-релаксационную поляризацию, недопустимо. Низкочастотные конденсаторы большой ёмкости - используют сегнетоэлектрики и материалы с сильной ионно-релаксационной поляризацией (например, керамика типа ЦТС, легированный TiO_2). Большое ε достигается за счёт релаксационных процессов, но ценой потерь. Термостабильные диэлектрики (конденсаторы группы СНП, НПО) - компенсируют слабую отрицательную зависимость ионной поляризации добавками с положительным ТКε (часто как раз за счёт релаксационных механизмов). Кроме того, время релаксации напрямую определяет рабочий частотный диапазон материала: если в техническом задании указано tg δ < 0,001 на 1 МГц - значит, ионно-релаксационная поляризация должна быть подавлена (мало дефектов, высокая чистота).

Таким образом, ионная и ионно-релаксационная поляризации различаются принципиально: первая - упругий, безынерционный и практически бездиссипативный механизм, характерный для совершенных ионных кристаллов; вторая - диффузионный, инерционный и связанный с потерями механизм, обусловленный слабосвязанными дефектами или разупорядочением структуры. Время релаксации τ является центральным параметром для описания ионно-релаксационной поляризации (и всех релаксационных механизмов). Оно показывает, насколько быстро система возвращается в равновесие, и экспоненциально зависит от температуры (через энергию активации), а также от структурного совершенства материала и внешних воздействий. Понимание этих различий лежит в основе материаловедения диэлектриков: от выбора состава керамики для СВЧ-плат до разработки конденсаторных материалов с заданной температурно-частотной характеристикой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Томилин В. И., Томилина Н. П., Бахтина В. А. Физическое материаловедение : учеб. пособие для вузов : в 2 ч. — Ч. 1 : Пассивные диэлектрики. — М. : ИНФРА-М ; Красноярск : СФУ, 2020. — 279 с.

2. Зайцев Ю. В., Мирошниченко А. Ю., Холодный Д. С. Материалы и элементы электронной техники (физика процессов, строение и электрические характеристики). — 2017.
3. Martinez-Vega J., ed. Dielectric Materials for Electrical Engineering. — London : Wiley, 2010 . — 580 p. (ISTE series).

В ЧЁМ СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЕ МЕЖДУ СИТАЛЛОМ И СТЕКЛОМ. КАКОВА ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СИТАЛЛОВ И ДЛЯ КАКИХ ЦЕЛЕЙ ОНИ ПРИМЕНЯЮТСЯ

Коптев Н.А., студент 1 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Мякотина М. В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В современном материаловедении поиск веществ, способных выдерживать экстремальные нагрузки, температурные перепады и агрессивные среды, является одной из приоритетных задач. Традиционное силикатное стекло, известное человечеству тысячелетиями, обладает рядом уникальных оптических свойств, однако его механическая прочность и термическая стойкость часто оказываются недостаточными для высокотехнологичных отраслей. Ответом на эти вызовы стало создание ситаллов — материалов, занимающих промежуточное положение между обычным стеклом и керамикой. Несмотря на внешнюю схожесть, ситаллы и стекло имеют фундаментальные различия в атомной структуре, технологии производства и эксплуатационных характеристиках. Цель данной статьи — провести детальный сравнительный анализ этих материалов, раскрыть секреты технологии изготовления ситаллов и обозначить ключевые сферы их применения в современной индустрии.

Чтобы понять разницу между стеклом и ситаллом, необходимо обратиться к их микроструктуре. Обычное стекло является аморфным телом. Это означает, что его атомы не имеют упорядоченной кристаллической решетки, а расположены хаотично, подобно молекулам в застывшей жидкости. Именно отсутствие дальнего порядка в расположении атомов придает стеклу его изотропность (свойства одинаковы во всех направлениях) и прозрачность, но также делает его хрупким и чувствительным к термическим шокам [1].

Ситалл (стеклокерамика) представляет собой композитный материал. Он получается на основе стекла, но в процессе специальной термической обработки в его объеме происходит управляемая кристаллизация. В результате ситалл состоит из мельчайших кристаллов, равномерно распределенных в остаточной стекловидной фазе. Размер этих кристаллов обычно составляет от долей микрона до нескольких микрон. Если кристаллы достаточно малы и их коэффициент преломления близок к коэффициенту преломления стекловидной фазы, материал может оставаться прозрачным. Однако чаще всего ситаллы имеют мелкозернистую структуру, делающую их полупрозрачными или полностью непрозрачными.

Таким образом, главное сходство заключается в исходном сырье: и стекло, и ситалл начинаются как расплав силикатов, боратов или фосфатов. Главное различие кроется в финальном фазовом состоянии: стекло остается аморфным, а ситалл становится поликристаллическим [2].

Различия в структуре диктуют существенный разрыв в эксплуатационных характеристиках. Рассмотрим ключевые параметры:

Термическая стойкость и коэффициент теплового расширения (КТР).

Это наиболее критичное различие. Обычное оконное стекло имеет высокий КТР, что означает сильное расширение при нагреве. При неравномерном нагреве (например, попадание капли холодной воды на горячую поверхность) возникают внутренние напряжения, ведущие к разрушению. Ситаллы же могут быть разработаны так, чтобы иметь нулевой или даже отрицательный КТР. Это достигается подбором состава кристаллической фазы, которая при нагреве сжимается, компенсируя расширение стекловидной матрицы. Благодаря этому ситаллы выдерживают перепады температур в сотни градусов без разрушения, тогда как обычное стекло треснет при перепаде в 50–70 °C [3].

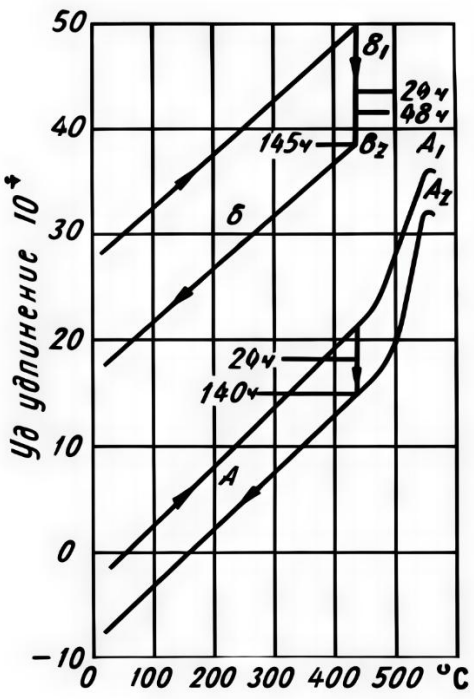


Рис. 1 – Тепловое расширение ситалла зависит от степени кристаллизации: длительная выдержка приводит к почти нулевому расширению, что делает материал устойчивым к резким перепадам температур — в отличие от обычного стекла.

Механическая прочность. Ситаллы, как правило, прочнее обычного стекла на изгиб и сжатие. Кристаллическая структура затрудняет распространение трещин. Если в стекле трещина распространяется лавинообразно по аморфной сети, то в ситалле она встречает на своем пути границы кристаллов, которые гасят энергию разрушения. Однако стоит отметить, что ситаллы уступают в прочности специально закаленному стеклу (сталинит), но выигрывают у него в термической стабильности.

Оптические свойства. Стекло традиционно прозрачно в видимом диапазоне. Ситаллы чаще всего непрозрачны или полупрозрачны из-за рассеивания света на границах кристаллов. Исключением являются прозрачные ситаллы, используемые в оптике, где размер кристаллов меньше длины световой волны.

Химическая стойкость. Оба материала обладают высокой инертностью к большинству химических реагентов, кислот и щелочей. Однако ситаллы, благодаря кристаллической фазе, часто демонстрируют повышенную коррозионную стойкость в агрессивных средах по сравнению с аналогичными по составу стеклами.

Производство ситаллов — это высокотехнологичный процесс, требующий точного контроля температурных режимов. Его можно разделить на несколько ключевых этапов, которые отличают его от производства обычного стекла.

Этап 1: Варка шихты. Процесс начинается так же, как и в стекольной промышленности. Подготовленная шихта (смесь кварцевого песка, оксидов металлов, карбонатов и др.) плавится в печах при температурах 1400–1600 °C. Важной особенностью является введение в шихту специальных веществ-катализаторов кристаллизации (нуклеаторов). Чаще всего в этой роли выступают диоксид титана (TiO_2), диоксид циркония (ZrO_2) или соединения фосфора. Именно они обеспечивают зарождение кристаллов в дальнейшем [4].

Этап 2: Формование заготовки. Расплавленная масса формуется в изделия нужной формы (листы, трубы, сложные детали) методами прессования, проката или выдувания. На этом этапе материал представляет собой обычное стекло. Важно предотвратить преждевременную кристаллизацию, поэтому охлаждение после формования должно быть достаточно быстрым.

Этап 3: Двухступенчатая термическая обработка (Керамизация). Это самый ответственный этап, превращающий стекло в ситалл. Он проводится в специальных печах и состоит из двух стадий:

Нуклеация (Зарождение центров кристаллизации). Заготовка нагревается до температуры несколько выше точки стеклования (обычно 500–700 °C) и выдерживается в этом режиме. В этот момент нуклеаторы активируются, и в объеме материала образуются миллиарды микроскопических зародышей кристаллов. От количества этих центров зависит размер будущих кристаллов: чем их больше, тем мельче будет зерно и выше прочность материала.

Рост кристаллов. Температура повышается до 800–1100 °C. На этой стадии зародыши начинают расти, превращаясь в полноценные кристаллы. Время выдержки и точная температура определяют фазовый состав и степень кристалличности (которая может достигать 90–95%).

Этап 4: Контролируемое охлаждение. После завершения кристаллизации изделие медленно охлаждается для снятия внутренних термических напряжений. В отличие от закалки стекла, где создается напряжение сжатия на поверхности, в ситаллах стремятся к минимизации любых внутренних напряжений для стабильности размеров [1].

Благодаря уникальному сочетанию свойств, ситаллы нашли применение в самых разных отраслях, где обычное стекло не справляется.

Бытовая техника и кухонные поверхности. Самый массовый пример использования ситаллов — варочные панели для электроплит и духовых шкафов. Бренды используют стеклокерамику, которая выдерживает нагрев до 750 °C от конфорок и не трескается при попадании холодной жидкости. Кроме того, такие панели пропускают инфракрасное излучение от нагревательных элементов, но остаются прочными [3].

Астрономия и оптика. Для изготовления зеркал крупных телескопов требуются материалы, которые не меняют свою форму при ночном охлаждении. Любое расширение или сжатие исказит фокус. Ситаллы с нулевым тепловым расширением являются стандартом в астрономии. Зеркала телескопов, установленных в обсерваториях по всему миру, включая Очень Большой Телескоп в Чили, изготовлены из таких материалов.

Аэрокосмическая промышленность. В конструкции ракет и спутников используются радиопрозрачные обтекатели и иллюминаторы из ситаллов. Они должны выдерживать перегрузки при запуске, вакуум космоса и резкие перепады температур при входе в атмосферу. Прозрачные ситаллы позволяют создавать прочные иллюминаторы, не мутнеющие от радиации.

Медицина и стоматология. Биосовместимые ситаллы используются для изготовления зубных протезов и костных имплантатов. Некоторые составы стеклокерамики способны химически связываться с живой костной тканью, способствуя ее регенерации. Высокая эстетика (возможность подбора цвета и прозрачности) и прочность делают их идеальными для коронок и мостов [4].

Электроника и микросхемы. В микроэлектронике ситаллы применяются как подложки для микросхем. Их низкий КТР позволяет согласовывать расширение подложки с кремниевыми чипами, что предотвращает отслоение контактов при нагреве устройства в процессе работы. Также ситаллы используются в качестве изоляторов в вакуумных приборах.

Промышленность и химическое машиностроение. Из ситаллов изготавливают трубы, вентили и насосы для перекачки агрессивных химических жидкостей. Их стойкость к кислотам превосходит многие металлы и сплавы, а прозрачность (в некоторых случаях) позволяет визуально контролировать поток среды.

Технология ситаллов продолжает развиваться. Современные исследования направлены на создание наноструктурированных стеклокерамик с еще более высокими показателями прочности. Актуальной темой является переработка ситаллов. В отличие от некоторых композитов, ситаллы поддаются вторичному плавлению, хотя процесс требует повторной нуклеации, что усложняет рециклинг по сравнению с обычным стеклом.

Экологичность производства ситаллов также является предметом внимания. Поскольку они служат дольше и реже требуют замены (например, в промышленных агрегатах), их жизненный цикл более благоприятен для окружающей среды. Однако энергозатраты на двухступенчатый обжиг выше, чем при производстве обычного стекла, что требует внедрения более эффективных печей [2].

Подводя итог, можно утверждать, что ситалл и стекло, имея общее химическое происхождение, являются принципиально разными материалами с точки зрения физики твердого тела. Стекло остается аморфным веществом с высокой прозрачностью, но ограниченной термической стойкостью. Ситалл, являясь продуктом управляемой кристаллизации, сочетает в себе технологичность стекла (возможность литья и формования) и прочность керамики.

Ключевым преимуществом ситаллов является возможность тонкой настройки свойств под конкретную задачу: от нулевого теплового расширения для телескопов до высокой биоактивности для имплантатов. Технология их изготовления, основанная на введении нуклеаторов и строгом температурном контроле, позволяет получать материалы, недоступные для классической металлургии или керамики. В будущем, с развитием аддитивных технологий и наноматериалов, роль ситаллов в высокотехнологичных отраслях будет только возрастать, открывая новые горизонты в оптике, медицине и энергетике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свойства ситаллов — Химическая технология. Электронный учебный ресурс.
2. Технология получения ситаллов. Студенческий портал StudFile.
3. Производство ситаллов. Справочник химика 21.
4. Ситаллы, металлические стекла. Викичтение технической литературы.
5. Ситаллы — Мегаэнциклопедия Кирилла и Мефодия.

ФОРМИРОВАНИЕ АНОМАЛИЙ В ИСКУССТВЕННЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ РАННЕГО РАСПОЗНАВАНИЯ ШЛАКА ПРИ РАЗЛИВКЕ СТАЛИ

Коренев А.В., аспирант 1 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент, **Полещенко Д.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В настоящее время актуальной является задача непрерывного мониторинга состояния технологических процессов и оборудования на основании анализа промышленных сигналов [1, 2], в частности сигналов вибрации в сталелитейной промышленности.

Одним из примеров такой задачи служит определение момента начала поступления шлака из сталеразливочного ковша в промежуточный ковш в процессе непрерывной разливки стали на основе анализа сигнала виброускорения манипулятора защитной трубы машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) [3].

Некоторые частные решения задачи раннего распознавания шлака были описаны авторами работы в [4]. Однако эффективность данных методов была ограничена значительной стохастичностью реальных данных.

В работе [5] были представлены результаты моделирования искусственных стохастических временных рядов на основе частотных и статистических характеристик реальных данных. Данная работа служит продолжением этих исследований и направлена на моделирование снижения уровня вибрации при начале засасывания шлака в промежуточный ковш, то есть формирования аномалий в искусственных сигналах.

На последнем этапе разливки в струю стали начинает засасываться шлак, плотность которого значительно меньше плотности стали, что приводит к снижению уровня вибрации [6]. Данное явление можно интерпретировать как аномалию.

Для описания этого переходного процесса была использована модель экспоненциального затухания (1):

$$\alpha(t) = \alpha_\infty + (\alpha_0 - \alpha_\infty) \cdot e^{\frac{-t}{\tau}}, \tag{1}$$

где α_0 – коэффициент, характеризующий уровень сигнала до поступления шлака, принят за 100% уровень; $\alpha_\infty \in (0; 1)$ – коэффициент, характеризующий установившийся уровень вибрации при большом объеме поступления шлака в промежуточный ковш; τ– время релаксации.

В дискретном виде данный закон был представлен выражением (2):

$$\alpha[n] = \begin{cases} 1, \ 1 \le n < N_a, \\ \alpha_\infty + (\alpha_0 - \alpha_\infty) \cdot e^{\frac{-n}{f_s \tau}}, \ N_a \le n \le L_x, \end{cases} \tag{2}$$

где f_s – частота дискретизации; N_a – момент возникновения аномалии; L_x – длина сгенерированного сигнала.

При этом аномалия с функциональной зависимостью $\alpha[n]$ интегрировалась в модель искусственного сигнала работы [5] $x[n]$ согласно следующему выражению:

$$x'[n] = \alpha[n] \cdot x[n]. \tag{3}$$

Параметры затухания подбирались на основе СКО, вычисленным для различных интервалов реальных сигналов. Этот подход основывался на зависимости между снижением уровня вибрации и убыванием их среднеквадратичного отклонения.

Продолжительность аномалии для реального технологического процесса составляет более одной минуты, поэтому при моделировании для оценки работоспособности алгоритмов выявления аномалий за основу было взято значение менее минуты, а именно 30 секунд. Для целей моделирования вариативность данного временного интервала не носит

принципиального характера. При использовании полученной модели с целью исследования алгоритмов определения аномалии важно понимать и соответственно управлять моментом начала ее формирования.

Пример участка сигнала длительностью 60 секунд представлен на рисунке 1. Красной линией обозначен момент, когда в сигнале началось формирование аномалии.

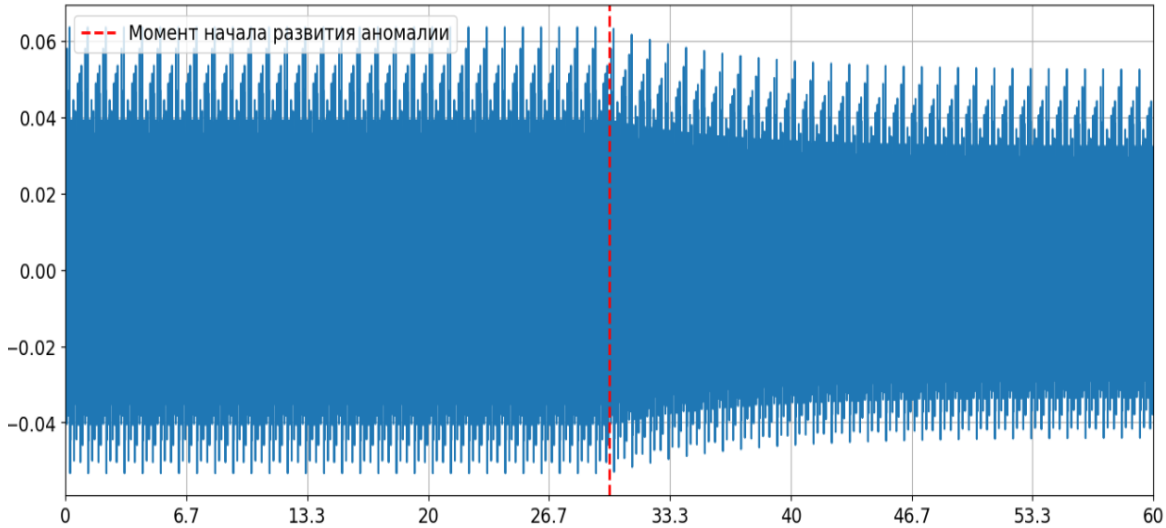


Рис. 1 – Сгенерированный сигнал с аномалией

Таким образом, в данной работе рассмотрена задача моделирования стохастических вибрационных сигналов на основе частотного и статистического анализа. Предложен алгоритм формирования аномалии во временных рядах на основе статистических характеристик реальных данных.

Экспериментальные результаты подтвердили осуществимость моделирования технологических стохастических процессов непрерывной разливки стали.

Полученная модель может составить основу для верификации методов идентификации аномальных состояний промышленных сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kochergin V. Optimization of technical monitoring processes / V. Kochergin, D. Plotnikov, A. Ilinykh, S. Glushkov // Transportation Research Procedia. – 2021. – Vol. 54. – P. 166-172.

2. Zhao C. Condition-driven data analytics and monitoring for wide-range nonstationary and transient continuous processes / C. Zhao, J. Chen, H. Jing // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. – 2020. – Vol. 18. – No. 4. – P. 1563-1574.

3. Chakraborty A. Vision-based detection system of slag flow from ladle to tundish with the help of the detection of undulation of slag layer of the tundish using an image analysis technique / A. Chakraborty, J. Ghose, S. Chakraborty, B. Chakraborty // Ironmaking & Steelmaking. 2022. Vol. 49, No 1. P. 10–15.

4. Полещенко, Д. А. Разработка и анализ эффективности критериев наличия шлака при разливке стали / Д. А. Полещенко, А. В. Коренев // Управление большими системами: сборник трудов. – 2025. – № 114. – С. 273-290.

5. Коренев, А. В. О моделировании сигналов вибрации технологических процессов / А. В. Коренев, Д. А. Полещенко // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: Материалы XXII Всероссийской научно-практической конференции, Старый Оскол, 28 ноября 2025 года. – Старый Оскол: Национальный исследовательский технологический университет "МИСИС", 2025. – С. 846-849.

6. Семенов М.В., Красильников С.С., Швидченко Д.В. и др. Вибродетектирование шлака при сливе стали из стальковша в промежуточный ковш // Автоматизированные технологии и производства. – 2015. – №2. – С. 40–42.

РАЗРАБОТКА ЯДРА ИГРОВЫХ МЕХАНИК КОМПЬЮТЕРНОЙ ИГРЫ В СРЕДЕ UNITY: АРХИТЕКТУРНЫЙ И ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ АСПЕКТЫ

Криволапов П.А., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., ст. преподаватель **Жуков П.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Введение

Современная индустрия развлечений характеризуется постоянным усложнением внутренней структуры программных продуктов. По данным ежегодного отчёта платформы Unity за 2024 год, более 70% мобильных игр и значительная доля проектов для персональных компьютеров и консолей создаются с использованием Unity [1]. В условиях ограниченных вычислительных ресурсов пользователей возрастает потребность в разработке высоко оптимизированных программных систем. Игровой движок Unity предоставляет разработчику компонентно-ориентированную модель программирования, которая, при неправильном применении, провоцирует возникновение неэффективных структур кода, известных в профессиональной среде как запутанный код [2].

Исследования, проведённые в Университете Иннополис в рамках проектирования архитектуры игровых приложений, показывают, что отсутствие чёткой архитектурной стратегии на этапе проектирования ядра приводит к экспоненциальному росту затрат на внесение изменений на поздних стадиях разработки [3]. Аналогичные выводы представлены в работах Дэвида Бэрона, где подчёркивается критическая важность разделения данных и поведения для создания масштабируемых игровых систем [4].

Объектом исследования является процесс разработки программного обеспечения компьютерных игр в среде Unity. Предметом исследования выступают архитектурные решения и методы оптимизации, применяемые при создании ядра игровых механик.

Научная новизна работы заключается в комплексном анализе и сопоставлении современных архитектурных шаблонов с классической моделью компонентного программирования Unity применительно к задачам оптимизации цикла обновления кадров.

Практическая значимость исследования состоит в формулировании конкретных технических рекомендаций к реализации на языке C#, применимых в коммерческой и независимой разработке.

Теоретические основы функционирования ядра игры в среде Unity

Структура и особенности основного цикла исполнения

Среда выполнения Unity построена на взаимодействии двух уровней программного кода: внутреннего ядра, написанного на языке C++, и управляемой виртуальной машины, исполняющей пользовательские скрипты на языке C#. Фундаментальным процессом, определяющим интерактивность приложения, является игровой цикл, в документации Unity именуемый Player Loop (основной цикл исполнения) [5].

Основной цикл исполнения представляет собой итеративный алгоритм, в рамках которого последовательно вызываются предопределённые стадии обработки: получение сигналов от устройств ввода, расчёт физического взаимодействия объектов, выполнение пользовательских функций обратного вызова, визуализация сцены.

Традиционная парадигма разработки под Unity предполагает, что каждый активный игровой объект, оснащённый компонентом-наследником базового класса MonoBehaviour (базовый класс поведения), выполняет собственную логику в методе Update (обновление кадра). Однако такой подход обладает низкой вычислительной эффективностью. Каждый вызов метода обновления из управляемой среды C# требует переключения контекста выполнения между управляемой и неуправляемой частями движка, что создаёт

накопительные издержки при наличии на сцене значительного количества объектов (порядка нескольких тысяч единиц) [5].

Второй фундаментальной проблемой, возникающей при проектировании ядра игры, является высокая степень взаимозависимости программных модулей. При использовании методов поиска объектов по имени или получения ссылок на компоненты непосредственно в процессе выполнения игрового цикла, создаются жёсткие статические зависимости. Модификация одного компонента (например, системы передвижения) создаёт неконтролируемые побочные эффекты в другом компоненте, что противоречит одному из базовых принципов объектно-ориентированного проектирования – принципу открытости и закрытости (OCP) [2].

Анализ архитектурных шаблонов проектирования ядра игровых механик

Для предотвращения указанных выше проблем в современной практике разработки на Unity применяется ряд специализированных архитектурных шаблонов. Рассмотрим наиболее значимые из них, начиная с шаблона «Централизованный управляющий игровым циклом».

Данный шаблон предполагает внедрение в сцену объекта-одиночки, который получает исключительное право на вызов метода обновления кадра. Все активные сущности игрового мира регистрируются в реестре данного объекта и получают обновления состояния не одновременно, а последовательно, в рамках единого цикла, управляемого из одного потока выполнения.

Анализ показывает, что данная архитектурна обладает следующими преимуществами. Во-первых, разработчик получает точный контроль над порядком просчёта игровой логики, что является критически важным требованием для игр с пошаговым режимом, систем сохранения состояния и воспроизведения повторов, а также для активации механик в требуемом порядке если такие имеются [6]. Во-вторых, уменьшается количество точек входа во внутренний код движка, так как вместо множества вызовов методов обновления на множестве объектов осуществляется один вызов, внутри которого выполняется перебор массива управляемых сущностей.

Была разработана и протестирована реализация данного шаблона на языке C#. Ниже приведён фрагмент кода центрального управляющего цикла:

```
public sealed class GameLoopManager : MonoBehaviour
{
	private readonly List<ITickable> tickableEntities = new(1024);
	private void Update()
	{
		float deltaTime = Time.deltaTime;
		for (int i = 0; i < tickableEntities.Count; i++)
		{
			tickableEntities[i].Tick(deltaTime);
		}
	}
}
```

В целях минимизации связанности компонентов предлагается использование атомарного подхода, в концепции своей близкого к модели взаимодействующих сущностей и шаблону «Наблюдатель» [2]. Сущность подхода заключается в разделении игрового объекта на три независимых слоя: атомарные данные (типизированные контейнеры для хранения значений, поддерживающие уведомление об изменении), атомарные события (объекты-сигналы, передающие факт совершения действия без привязки к его источнику или получателю) и механики (классы, содержащие чистую логику работы правил игры и подписанные на события первых двух слоёв).

Такой подход соответствует принципу обращения зависимостей, поскольку как высокоуровневые модули (механики), так и низкоуровневые (данные) зависят от абстракций (событий), а не от конкретных реализаций друг друга [2].

Для обеспечения связи между крупными подсистемами ядра (например, хранилище предметов и система диалогов) применяется глобальная шина событий. Данный шаблон устраняет необходимость в прямых ссылках на объекты сцены. Вместо этого модули обмениваются сообщениями через центральный контроллер. С точки зрения программной инженерии, это обеспечивает выполнение критерия модульности и воспроизводимости, так как любая подсистема может быть изолирована и протестирована с использованием объектов-заглушек, имитирующих поток событий [7].

Методология оптимизации производительности ядра

Одной из наиболее значительных проблем при разработке на языках с автоматическим управлением памятью является недетерминированная активность сборщика мусора – компонента среды исполнения, отвечающего за автоматическое освобождение неиспользуемой памяти. В контексте интерактивных приложений реального времени задержки, вызванные освобождением памяти, приводят к резким отклонениям времени подготовки кадра, что воспринимается пользователем как кратковременные зависания изображения.

Основной причиной срабатывания сборщика мусора в Unity является выделение памяти под временные объекты в методах, вызываемых каждый кадр. Для устранения данного негативного эффекта применяется шаблон «Пул объектов» [4].

Сущность метода заключается в переопределении смысла операций создания и уничтожения объектов. Вместо освобождения памяти путём вызова процедуры уничтожения объекта и освобождения памяти, объект переводится в неактивное состояние и помещается в коллекцию-очередь. Последующий запрос на создание нового экземпляра сущности (например, снаряда или визуального эффекта) удовлетворяется путём извлечения существующего объекта из пула и его повторной настройки. Данный подход изменяет характер операций с памятью с частых выделений и освобождений на однократное выделение большого блока памяти на этапе загрузки уровня.

В ходе практической реализации был создан универсальный пул объектов для снарядов и эффектов, что позволило полностью исключить аллокации памяти в игровом цикле и снизить нагрузку на сборщик мусора.

В подсистеме анимации часто используется интерфейс, принимающий строковые параметры, например вызов метода установки состояния с аргументом-строкой «Атака». Механизм внутренней реализации Unity предполагает вычисление целочисленного свёрнутого представления (хэша) для переданной строки при каждом вызове. Поскольку строки в C# являются неизменяемыми объектами, их объединение или передача в метод установки состояния может неявно порождать выделение дополнительной памяти. Рекомендуемым методом оптимизации является предварительное сохранение свёрнутого представления в статической переменной целочисленного типа с использованием соответствующего метода преобразования строки в хэш [5].

Ввиду того, что метод получения компонента осуществляет поиск по внутреннему списку компонентов игрового объекта, его вызов в высокочастотных методах недопустим с точки зрения оптимизации. Результат поиска должен быть сохранён в поле класса на этапе пробуждения объекта. Важно понимать, что обращение к свойству основной камеры сцены также является обёрткой над операцией поиска объекта по метке, следовательно, подлежит обязательному сохранению в переменной.

Заключение

В ходе проведённого исследования были проанализированы фундаментальные ограничения стандартной модели разработки игровых механик в среде Unity. Установлено, что проблемы производительности и масштабируемости кода обусловлены архитектурными особенностями обработки событий обновления кадра и отсутствием чёткой границы между данными и логикой. В качестве решения предложен синтез трёх архитектурных шаблонов: централизованный управляющий игровым циклом, атомарная структура компонентов и использование пулов объектов. Дальнейшие исследования в данном направлении могут быть

сосредоточены на интеграции описанных подходов с технологией Unity DOTS (пакет технологий, ориентированных на данные) для достижения максимальной производительности на многоядерных архитектурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Unity Technologies. Порядок выполнения событий и обновления в Unity [Электронный ресурс] // Unity Documentation. — URL: https://docs.unity3d.com/Manual/ExecutionOrder.html (дата обращения: 05.03.2026). — Текст: электронный.
2. Атомарный подход в Unity: архитектура для масштабируемых проектов [Электронный ресурс] // Habr. — URL: https://habr.com/ru/articles/781122/ (дата обращения: 08.03.2026). — Текст: электронный.
3. Week 2 - Choosing the Tech Stack, Designing the Architecture [Электронный ресурс] // Capstone Documentation, Университет Иннополис. — URL: https://capstone.innopolis.university/docs/2024/frontline-walker/week2/ (дата обращения: 09.03.2026). — Текст: электронный.
4. Baron, D. Game Development Patterns with Unity 2021: Explore practical game development using software design patterns and best practices in Unity and C# / David Baron. — 2nd ed. — Birmingham: Packt Publishing, 2021. — 232 p. — ISBN: 9781800200814. — Текст: непосредственный.
5. Unity 2024 Gaming Report: Global industry trends and insights [Электронный ресурс] // Unity Technologies. — URL: https://unity.com/reports/2024-gaming-report (дата обращения: 02.03.2026). — Текст: электронный.
6. Data-Oriented Design for Games: Chapter 5 - Game board and game loop [Электронный ресурс] // Manning Publications. — URL: https://www.manning.com/books/data-oriented-design (дата обращения: 12.03.2026). — Текст: электронный.
7. EvaAvocado. SorterGame: событийно-ориентированная архитектура и внедрение зависимостей на примере Zenject [Электронный ресурс] // GitHub. — URL: https://github.com/EvaAvocado/SorterGame (дата обращения: 19.03.2026). — Текст: электронный.
8. Hybrid ECS/Monobehavior approach for Strategy game with Spine-Unity [Электронный ресурс] // Esoteric Software Forum. — URL: https://esotericsoftware.com/forum/d/28615-spine-unity-hybrid-ecs-monobehavior-for-strategy-game (дата обращения: 21.03.2026). — Текст: электронный.
9. Разработка вашей первой игры с помощью Unity и C# [Электронный ресурс] // Microsoft Learn, архив MSDN Magazine, август 2014. — URL: https://learn.microsoft.com/ru-ru/archive/msdn-magazine/2014/august/unity-developing-your-first-game-with-unity-and-csharp (дата обращения: 10.03.2026). — Текст: электронный.
10. Расширенное программирование и архитектура кода в Unity [Электронный ресурс] // Unity Activation Resources. — URL: https://activation.unity3d.com/ru/how-to/advanced-programming-and-code-architecture (дата обращения: 11.03.2026). — Текст: электронный.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗОГРЕВА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОВШЕЙ

Кучерявый А.С., студент 4 курс
Научный руководитель - к.т.н., доцент **Кривоносов В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Промежуточный ковш является важным элементом установки непрерывной разливки стали (УНРС), выполняющим функции накопления, выравнивания химического состава и температуры стали, а также распределения металла по кристаллизаторам.

Промковш МНЛЗ представляет собой емкость, соединяющую кристаллизатор МНЛЗ и сталеразливочных ковш[1]. По своему виду промковш зачастую представляет собой трапециевидную емкость с высокими бортами и таркет-слоями, это упрощает процесс изготовления футеровки и его обслуживание. Конечный вид промковша зависит от количества ручьев машины непрерывного литья заготовок. Конструкция промежуточного ковша изображена на рисунке 1.

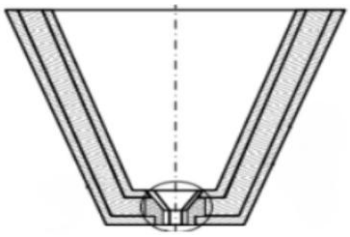


Рис.1 – Конструкция промежуточного ковша

Самой технологически сложной частью промежуточного ковша является его огнеупорное покрытие. На сегодняшний день применяют трехслойную технологию формирования покрытия:

1) Рабочий слой огнеупора, который непосредственно контактирует с расплавленной сталью. Обычно работает только в рамках одного цикла разливки, наносится на поверхность арматурного слоя, минимальная толщина футеровки составляет 30 мм;

2) Арматурный слой огнеупора промковша, который является многократной используемой футеровкой и представляет собой зацементированную тиксотропную массу на базе цемента и оксида алюминия или огнеупорный кирпич. Такой слой огнеупора, либо заливается при помощи специальной разливочной машины по шаблону, либо выкладывается вручную по техническому регламенту: до 100-120 мм у стен ковша. Имеет крайне высокую стойкость до 1000 плавок.

3) Теплоизоляционный слой, который предназначен для предотвращения потерь тепла металлом через футеровку.В среднем расход огнеупорного покрытия на один промковш составляет от 2,5 до 3,5 кг на тонну разливаемой стали.

Вне зависимости от того, какой слой огнеупора подлежал замене, финальным всегда будет рабочий слой, после которого необходимо окончательно высушить ковш и подготовить его к разливке. Подготовка заключается в разогреве рабочей футеровки до 1200 °С в соответствии с режимом, заданном технологическим регламентом.

Поддержание оптимального температурного режима нагрева промежуточного ковша является критически важной задачей для обеспечивания следующих факторов качества нагрева:

1) Увеличение стойкости футеровки за счет предотвращения термических напряжений;

2) Повышение качества слитка благодаря стабильному температурному режиму разливки;

3) Предотвращение тепловых потерь стали при разливке (снижение температуры на 50-100 °С);

4) Снижение расхода энергоносителей при оптимизации процесса нагрева.

Объектом автоматизации является стенд разогрева промежуточных ковшей. В настоящее время в электросталеплавильном цехе разогрев промежуточных ковшей производится на стендах, расположенных на разливочной площадке. На этих стендах футеровка промежуточных ковшей разогревается до 1200 °С, продолжительность разогрева составляет 5,5 - 6,5 часов. В настоящее время система управления процессом разогрева промковшей позволяет осуществлять следующие технологические операции в ручном режиме:

1) Включение маслостанции;
2) Поднятие и опускание крышки над тележкой с промежуточным ковшом;
3) Регулирование положения задвижек по газу и воздуху;
4) Розжиг горелок.

В автоматическом режиме осуществляются следующие операции:

1) Поддержание температуры по термопарам под крышкой в рамках заданной уставки;
2) Регулирования положения воздушной заслонки.

Основные недостатки можно резюмировать следующим образом:

1) Длительное время разогрева промежуточного ковша;
2) Поддержание соотношения газ/воздух в газовоздушной смеси горелок выполняется в ручном режиме, что сокращает срок службы горелок;
3) Горелки стенда работают в экономически невыгодном режиме;
4) Сигналы датчиков не унифицированы, часть датчиков морально устарела и требует замены.
5) Морально устаревшая запорная арматура.

Стенд разогрева промежуточных ковшей предназначен для разогрева промежуточного ковша до заданной температуры перед подачей его на МНЛЗ. Стенд разогрева промежуточных ковшей состоит из основной рамы, опирающейся на существующую площадку МНЛЗ, и подвижной консоли крепления крышки промежуточного ковша с горелками. Крышка с горелками крепится к консоли посредством подвижной подвески, что позволяет компенсировать перекосы при опускании её на промежуточный ковш. Подъем/опускание консоли осуществляется посредством гидравлического цилиндра с питанием от комплектной гидравлической станции. Подача природного газа от точки передачи сред происходит через газорегулирующую аппаратуру и далее к горелкам посредством гибких шлангов. Подача воздуха на горелки осуществляется от вентилятора, установленного на консоли, посредством воздуховодов.

Разрабатываемая система управления позволит нагревать промежуточный ковш за время не более 2,5 часа с обеспечением среднего расхода газа не более 250 $м^3$/час. Таким образом, при разработке системы управления получится реализовать контроль всех параметров работы и их регулирование, а так же сократится время нагревания промежуточного ковша.

Для разработки системы управления была построена функциональная схема автоматического регулирования температуры. Система состоит из трех контуров. Первый контур по температуре сравнивает уставку и текущее значение температур, регулятор вычисляет ошибку регулирования, формируется управляющий сигнал на исполнительные механизмы. Второй контур регулирования расхода газа, трехпозиционный регулятор работает в режимах: открыть/закрыть/стоп, расходомер измеряет фактический расход газа, сигналом обратной связи поступает на сумматор для коррекции. Третий контур регулирования расхода воздуха, уставка по воздуху формируется с учетом оптимального соотношения газ/воздух,

модель учитывает КИВ для полного сгорания, контроль по СО обеспечивает минимизацию недожога топлива.Функциональная схема системы управления температурой приведена на рисунке 2.

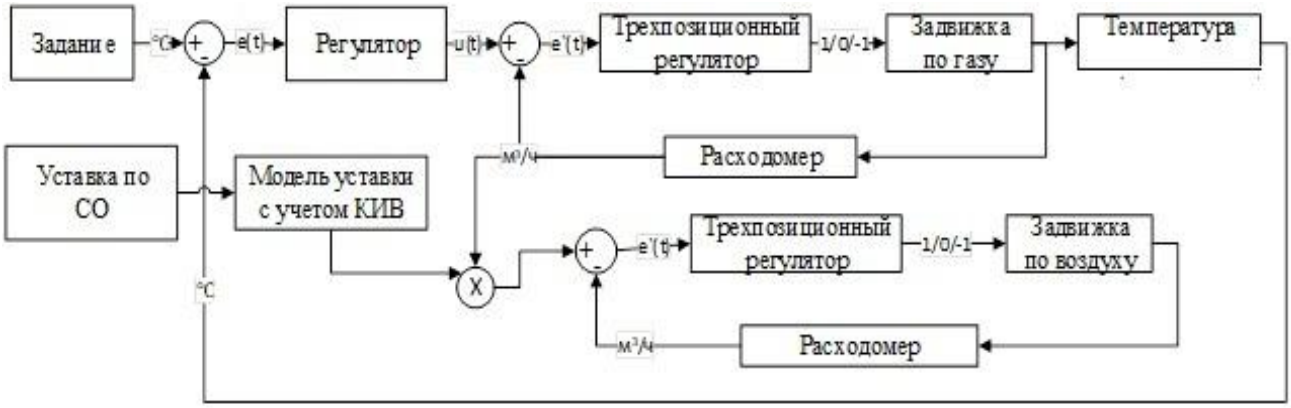


Рис. 2 – Функциональная схема системы управления температурой

Для настройки системы автоматического регулирования (САР) температуры была разработана математическая модель в среде Simulink Matlab (рис. 3). Многократное моделирования работы САР позволило подобрать оптимальные значения параметров ПИ-регуляторов. В процессе моделирования был получен график переходного процесса САР приведенный на рисунке 4. Перерегулирование по температуре незначительное. Реакцию ИМ на внешнее возмущение можно проследить на графике изменения расхода газа (рис. 5). Уставка контура регулирования расхода воздуха опирается на фактический расход газа в сопряженном контуре, а также на уставку по ожидаемому количество СО в дымовых газах. Соотношения «воздух-газ», поддерживаемое САР, можно проследить в графике соотношений (рис. 6).

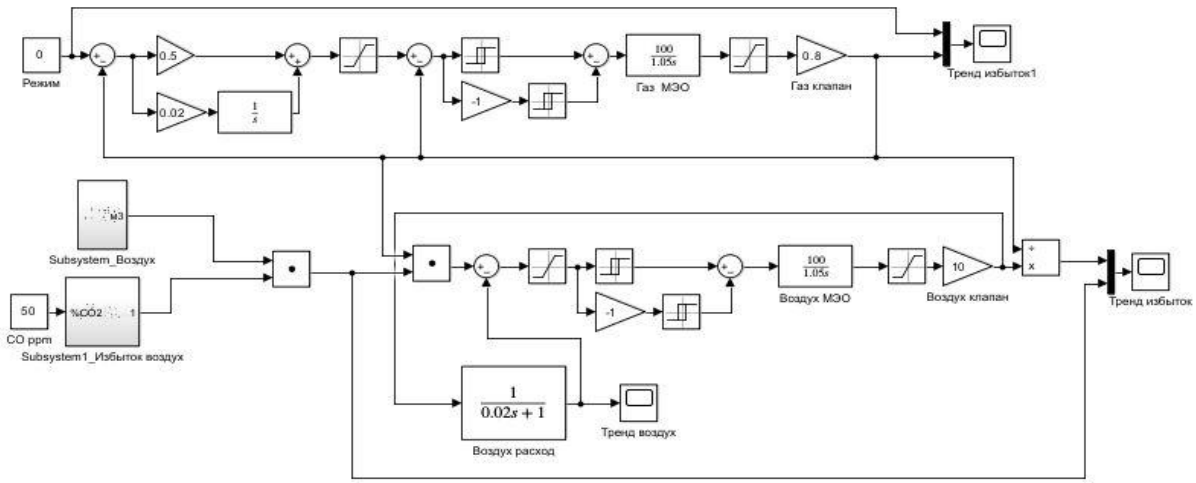


Рис. 3 – Математическая модель регулирования температуры

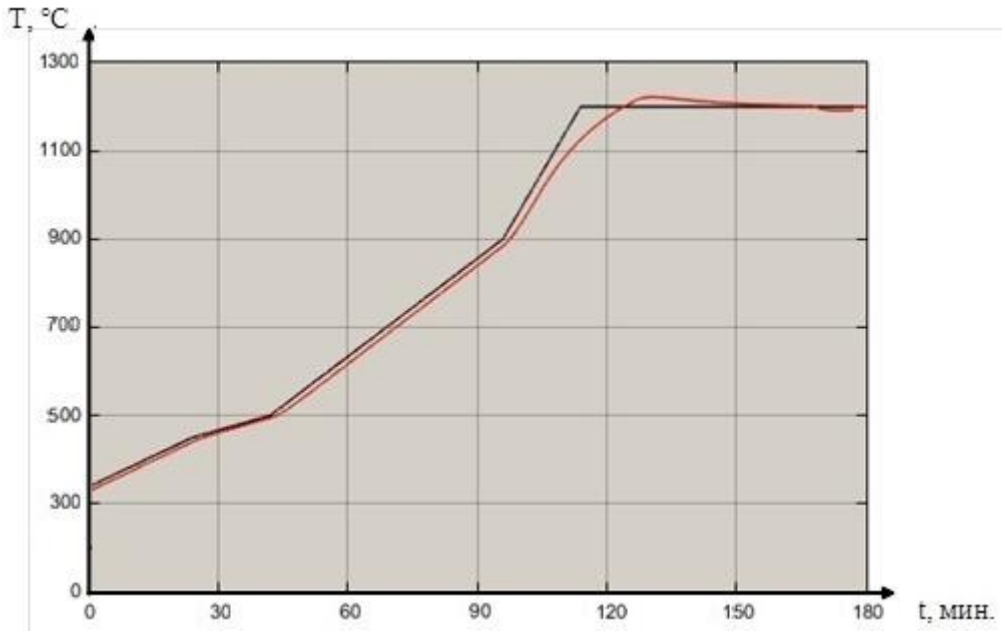


Рис. 4 – График изменения температуры промковша

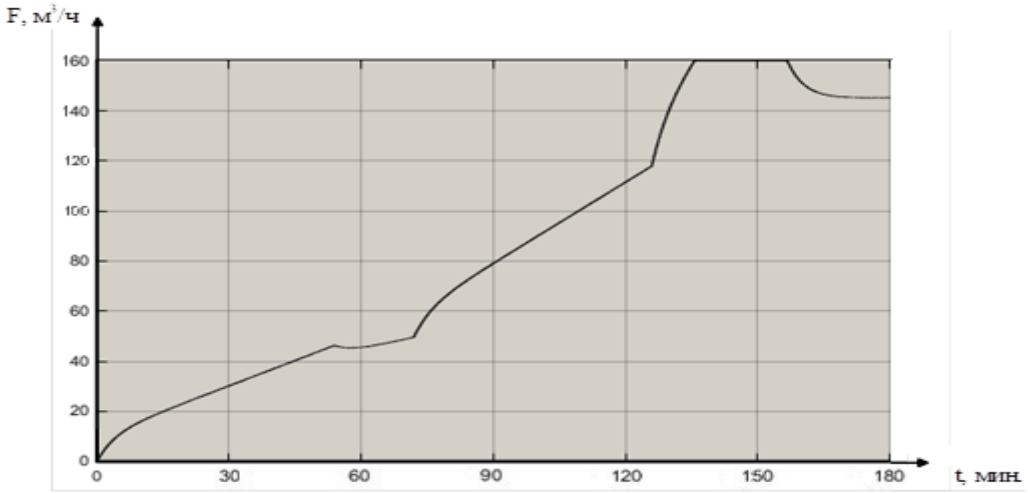


Рис. 5 – График изменения расхода газа

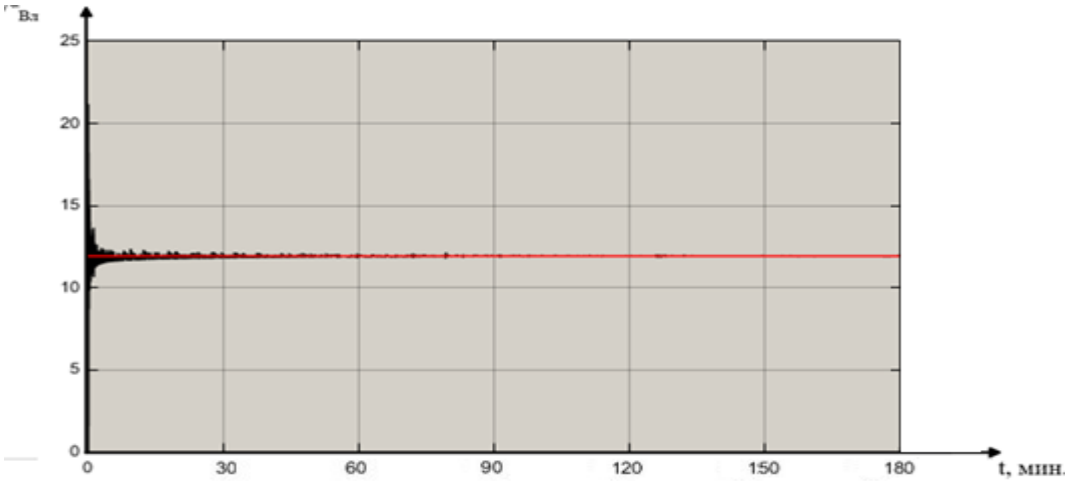


Рис. 6 – График соотношения воздух/газ

Созданная САР обладает высоким качеством управления, отсутствуют колебания. Настройка регулятора позволяет САР успешно реагировать на внешнее возмущение. В конечном участке нагрева наблюдается перерегулирование, порядка 1,5 процента от уставки, что можно считать незначительным.

Таким образом, разрабатываемая система позволит нагревать промежуточные ковши до температуры 1200 °С за время не более 2,5 часа, а также обеспечит средний расход газа не более 250 $м^3$/час, что обеспечит минимальный расход энергоресурсов при эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Непрерывная разливка стали [Электронный ресурс]. – URL: https://portal.tpu.ru/SHARED/v/VALUEV/Ychrab/Tab2/posobie_nepreryvnaya_razlivka_stali_i_splavov_avtor_d_v_.pdf// (дата обращения: 03.04.2026).

2. Установки сушки и нагрева промежуточных ковшей [Электронный ресурс]. – URL:https://www.jettechnologies.ru/catalog/sk_detail.php?SECTION_ID=65&ELEMENT_ID=409// (дата обращения: 03.04.2026)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РУЧНОГО ПОИСКА И ИИ-АССИСТЕНТОВ ПРИ СБОРЕ И ВЕРИФИКАЦИИ ГОДОВОЙ ОТЧЕТНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КОМПАНИЙ

Майкова К.Ф., студентка 2 курса
Научный руководитель - к.ф.-м.н., доцент **Богатов Е.М.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Введение

Годовая отчетность публичных акционерных обществ является фундаментальным источником данных для инвестиционного анализа, инженерно-экономических исследований и оценки устойчивости корпоративного сектора. В Российской Федерации обязанность по раскрытию такой информации регулируется Федеральным законом от 26.12.1995 № 208-ФЗ «Об акционерных обществах» [1] и Положением Банка России № 714-П [2]. Отчетность публикуется в соответствии с российскими (РСБУ) и международными (МСФО/IFRS) стандартами [3], что обеспечивает сопоставимость финансовых и операционных показателей во временных рядах. При этом структура отчетов может выходить за рамки финансовых показателей: современная документация обязательно включают блоки нефинансовой информации - данные о природопользовании, экологической безопасности, кадровом потенциале и корпоративном управлении.

Однако практический сбор массива отчетов за длительный период сопряжен с существенными методологическими трудностями: разрозненность источников размещения, частые изменения юридических наименований (ребрендинг, слияния, поглощения), наличие промежуточных (неаудированных) версий и высокий уровень информационного шума. Традиционные методы ручного поиска с использованием расширенных операторов браузеров позволяют повысить точность выборки за счет фильтрации по метаданным [4], но демонстрируют низкую масштабируемость при работе с десятками компаний. В последние годы глобальные ИИ-ассистенты на базе больших языковых моделей (LLM) предлагают альтернативный подход, основанный на семантическом понимании контекста запроса. [5]

Целью данной работы является сравнительный анализ эффективности ручного поиска и ИИ-ассистентов (Google, Яндекс/Алиса AI) при сборе и верификации годовой отчетности 50 крупнейших российских компаний за период 2015–2025 гг. Для достижения цели поставлены следующие задачи: определить маркеры достоверности для годовых отчетов; оценить временные затраты, полноту и точность каждого метода; определить ограничения ИИ-инструментов.

Основная часть

Перейдем к сравнительному анализу эффективности инструментов поиска и верификации годовой отчетности 50 крупнейших российских компаний за десятилетний период (2015–2025 гг.). Поиск производится следующими методами: традиционный «ручной», с использованием расширенных операторов браузера; использование глобальных ИИ-ассистентов на базе моделей Google и Яндекс. Сравнение производится по следующим критериям: точность ответа и затраченное время.

Независимо от выбора инструмента для поиска важной частью является верификация полученных данных, так для годовых отчетов маркерами достоверности стали: наличие аудиторского заключения; соответствие стандартам МСФО/РСБУ [3]; подписи гендиректора, главного бухгалтера, аудитора; дата подписания.

Ручной поиск производился как в отечественном браузере (Яндекс), так и в зарубежном браузере (Google) с помощью расширенных операторов - набора служебных символов и ключевых слов, используемых для сужения области поиска в информационном пространстве. Они позволяют фильтровать результаты по техническим метаданным документа (формат

файла, домен, дата индексации, вхождение ключевых слов в заголовок или тело ссылки), минимизируя информационный шум и повышая точность выборки [4]. Используемые операторы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – основные операторы

Оператор	Функция	Пример запроса
site:	Ищет только на конкретном домене	годовой отчет 2020 site:rosneft.ru
filetype: ext:	Фильтрует по расширению файла	МСФО отчет filetype:pdf
before: after:	Фильтр по дате индексации	отчет после:2021-01-01 до:2021-12-31

Ручной поиск позволяет производить поиск прозрачно, виден каждый шаг запроса, избегать «галлюцинаций» (генерации правдоподобных, но несуществующих ссылок или фактов), которыми страдают многие ИИ, а также непосредственно оценивать источники на достоверность. Однако вместе с тем ручной поиск требует больше времени, чувствителен к регистру, а также с ним невозможно отслеживания ребрендинга и динамику доменов.

Поиск с использованием глобальных ИИ-ассистентов осуществлялся на базе больших языковых моделей (LLM), способных понимать семантику запроса на естественном языке [5]. В рамках исследования тестировались решения на базе моделей Google и Яндекс (Алиса AI).

В отличие от ручного поиска, ИИ-ассистенты не требуют знания специального синтаксиса операторов. Вместо этого формулируется запрос в свободной форме с указанием ключевых параметров: названия компании, отчётного периода, стандарта отчётности (МСФО/РСБУ), типа документа. Пример запроса: «Найди прямую ссылку на годовой аудированный отчёт ПАО Роснефть за 2019 год по стандарту МСФО».

Ключевым преимуществом ИИ-ассистентов является способность к семантическому анализу: модель понимает разницу между «годовым отчётом» и «пресс-релизом», распознаёт контекст слияний и поглощений, может отфильтровать предварительные (неаудированные) результаты. При ребрендинге компании ИИ способен выстроить цепочку правопреемственности и найти отчётность предшествующих юридических структур, что, как ранее было указано, практически нереализуемо при ручном поиске.

При обработке годовых отчётов ИИ-ассистенты способны распознавать табличные блоки, идентифицировать различные показатели (выручка, чистая прибыль, капитальные затраты, данные по природопользованию) и экспортировать их в машиночитаемые форматы (CSV, XLSX). Это позволяет сократить время на анализ большого массива данных, однако требует время на верификацию.

Отечественные ИИ-ассистенты (Алиса AI) демонстрируют высокую точность поиска в российском сегменте интернета благодаря интеграции с национальными базами данных (e-disclosure.ru, moex.com) [6, 7] и приоритетной индексации официальных источников раскрытия информации. Зарубежные решения (Google AI) превосходят в поиске международных версий отчётности на англоязычных площадках и агрегаторах.

Однако ИИ-поиск имеет и ограничения. Модели подвержены «галлюцинациям» [5]. В ходе исследования выявлено, что в ряде случаев ИИ-ассистенты предлагали ссылки на предварительные результаты, презентации для инвесторов или устаревшие версии документов, что потребовало обязательной верификации каждого найденного файла по критериям, описанным ранее.

Таблица 2 – Сравнение способов поиска

Критерий	Ручной поиск	Google Assistant	Алиса AI
Скорость поиска 1 документа	3-30 мин	30–60 сек	30–60 сек
Точность по отечественным источникам	Высокая (при правильном синтаксисе)	Средняя (зависит от индексации)	Высокая (интеграция с e-disclosure, moex.com)
Точность по зарубежным источникам	Средняя (требует англ. синтаксиса)	Высокая (глобальная индексация)	Низкая (ограничена отечественным сегментом интернета)
Работа с ребрендингом	Отсутствует (требует ручного отслеживания)	Высокая (граф знаний + новости)	Высокая (семантический анализ связей)
Воспроизводимость	Полная (детерминированный синтаксис)	Ограниченная (зависит от версии модели и даты)	Ограниченная (зависит от версии модели и даты)
Масштабируемость	Низкая (линейный рост времени)	Высокая (пакетная обработка запросов)	Высокая (пакетная обработка запросов)

Как следует из таблицы 2, каждый метод имеет свою нишу применения. Google Assistant демонстрирует преимущество в поиске международной отчётности и работе с англоязычными источниками, тогда как Алиса AI превосходит в поиске по отечественным официальным ресурсам благодаря интеграции с системами раскрытия информации. Ручной поиск остаётся наиболее надёжным инструментом верификации, но проигрывает в скорости и масштабируемости.

Заключение

В ходе исследования был проведен сравнительный анализ двух подходов к поиску и верификации корпоративной отчетности: традиционного ручного поиска с расширенными операторами, а также использования ИИ-ассистентов Google и Яндекс (Алиса AI). Экспериментальная выборка включала 500 документов: 25 крупнейших компаний в металлургическом и горнодобывающем секторе за 10 лет.

Установлено, что ручной поиск обеспечивает максимальную прозрачность процесса и воспроизводимость результатов, полностью исключая риск генерации ложных данных. Однако метод характеризуется низкой масштабируемостью: временные затраты растут линейно при увеличении объема выборки, а отслеживание ребрендингов или слияний требует априорного знания всей цепочки изменений.

ИИ-ассистенты демонстрируют существенное преимущество в скорости обработки запросов, способности к семантической фильтрации и извлечению из отчетов необходимых данных. Модели эффективно распознают контекст слияний, отсеивают пресс-релизы и предварительные итоги, а также адаптируются к изменению структуры официальных сайтов. При этом существует географическая специфика: отечественная модель Яндекс показывает более высокую точность при работе с отечественными системами раскрытия информации (e-disclosure, Мосбиржа) благодаря приоритетной индексации доверенных источников, тогда как Google Assistant превосходит в поиске международных версий отчетности на англоязычных площадках и глобальных агрегаторах.

Ключевым ограничением ИИ-инструментов остается риск «галлюцинаций» (генерации правдоподобных, но несуществующих или устаревших ссылок), что в ходе исследования проявилось в ряде запросов. Это обуславливает невозможность полного отказа от экспертной верификации.

Дальнейшие перспективы исследования возможны в создании комбинированных методов поиска, которые объединят скорость ИИ-ассистентов и надёжность ручной проверки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 26.12.1995 № 208-ФЗ «Об акционерных обществах» (ред. от 08.08.2024) // Собрание законодательства РФ. – 1996. – № 1. – Ст. 1.

2. Положение Банка России от 30.12.2021 № 714-П «О раскрытии информации эмитентами эмиссионных ценных бумаг» (ред. от 15.03.2024) // Вестник Банка России. – 2022. – № 12.

3. Приказ Минфина России от 27.06.2016 № 98н «О введении в действие Международных стандартов финансовой отчетности на территории Российской Федерации» (ред. от 28.12.2023) // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2016. – № 31.

4. Савельев, А. И. Искусственный интеллект в информационном поиске: эволюция от ключевых слов к семантическому анализу / А. И. Савельев // Вестник Московского университета. Серия 9. Филология. – 2023. – № 4. – С. 112–130.

5. Ji, Z. Survey of Hallucination in Natural Language Generation / Z. Ji, N. Lee, R. Frieske [et al.] // ACM Computing Surveys. – 2023. – Vol. 55, № 12. – Art. 248. – DOI: 10.1145/3571730.

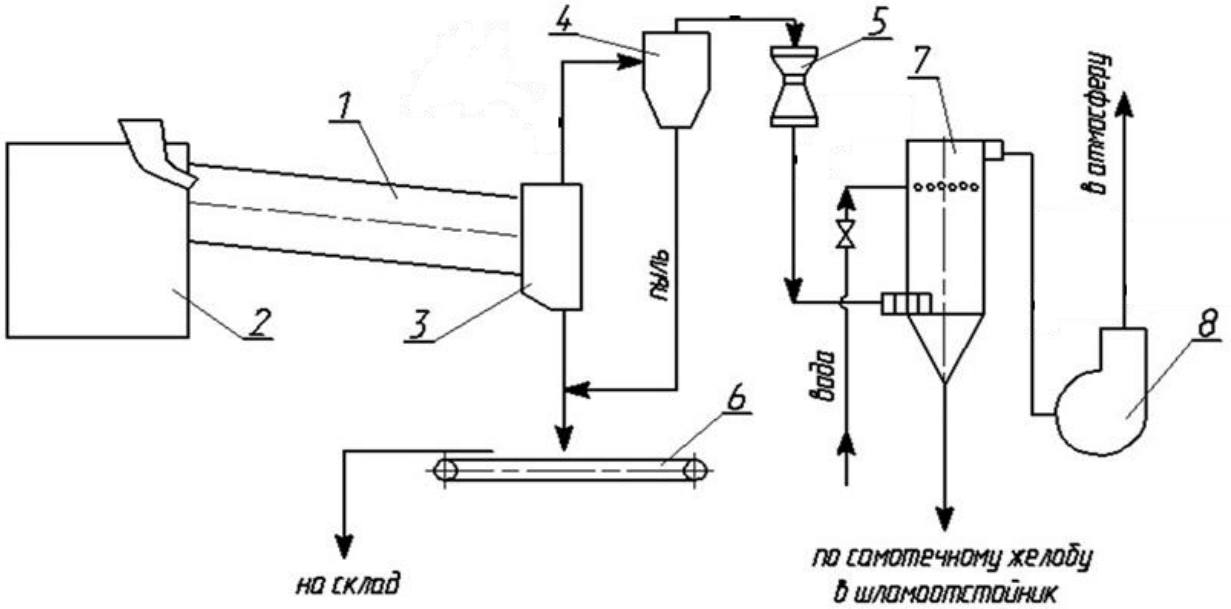
6. Московская Биржа. Раскрытие информации эмитентами : официальный сайт. – URL: https://www.moex.com/s715 (дата обращения: 20.03.2026).

7. Центральный банк Российской Федерации. Сервер раскрытия информации e-disclosure.ru : официальный сайт. – URL: https://www.e-disclosure.ru (дата обращения: 20.03.2026).

РАЗРАБОТКА АСУ ТП СУШИЛЬНОГО БАРАБАНА ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНОЙ ФАБРИКИ АО «МИХАЙЛОВСКИЙ ГОК ИМ. А.В. ВАРИЧЕВА»

Макаров Л.А., студент 4 курса
Научный руководитель - – к.т.н., доцент **Кривоносов В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Технологическая линия сушки железорудного концентрата установлена на дробильно-сортировочной фабрике (ДСФ) предприятия АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева». Производство сушёной продукции – одно из важнейших направлений работы дробильно-сортировочной фабрики. В зимний период доставка концентрата на металлургические заводы связана с большими трудностями. Заводы-потребители находятся на значительном расстоянии от Михайловского ГОКа, зимой руда смерзается, теряя свои качества. Чтобы этого не происходило, был введён в производство корпус сушки. ДСФ осуществляет производство сушёного концентрата с минимальным процентом влаги. На рисунке 1 представлена схема установки сушильного барабана.



1 – сушильный барабан, 2 – топка, 3 – разгрузочная камера, 4 - батарейный циклон, 5 – труба Вентури, 6 – конвейер ЛК-54а, 7 - скруббер МП-ВТИ, 8– дымосос.

Рис. 11 – Функциональная схема установки сушильного барабана

Исходные влажные шихтовые компоненты железнодорожным транспортом доставляют на дробильно-сортировочною фабрику. При помощи ленточных конвейеров влажный материал доставляется в бункера корпуса приема сырой руды. Пластинчатые питатели, установленные в бункере, регулируют количество подаваемых материалов. Из пластинчатых питателей сырой продукт поступает в загрузочную течку сушильного барабана. В топке сушильного барабана установлены 4 горелки, работающие на природном газе (3 - рабочие, 1 - резервная), производительностью 360 м³/ч каждая, к которым подается воздух для горения. Процесс сушки происходит во вращающемся барабане. Сушенный готовый продукт из разгрузочной камеры при помощи ленточных конвейеров направляется на отгрузку. Технологические газы из разгрузочной камеры направляются на очистку.

Участок сушки дробильно-сортировочной фабрики (ДСФ) состоит из 11 сушильных барабанов и необходимого для их работы вспомогательного оборудования. Участок предназначен для сушки концентрата железорудного. Исходная влажность концентрата составляет примерно 5 %, а после сушки она должна равняться 3,5 %.

Технологический процесс сушки и очистки газов включает следующие этапы:

Подача и сушка материала: Влажный материал (концентрат или руда) подается в сушильный барабан (Ø3500 мм, L=27000 мм). В топке сжигается природный газ, продукты сгорания которого, смешиваясь с воздухом, выступают в роли сушильного агента (температура на входе 850–900 °C).

Отвод отработанных газов: Газы с температурой 70–80 °C (макс. 200 °C) и концентрацией пыли до 150 г/м³ направляются из разгрузочной камеры в систему газоочистки.

Первая ступень очистки (сухая): Газы поступают в батарейный циклон БЦ-13-250, где под действием центробежных сил осаждаются крупные и средние фракции пыли [2].

Вторая ступень очистки (мокрая): Предварительно очищенные газы направляются в трубу Вентури, где вода дробится на мельчайшие капли, коагулирующие с частицами пыли.

Каплеулавливание: Газы поступают в скруббер МП-ВТИ, где вращающийся поток под действием центробежных сил отделяет капли воды с пылью, которые удаляются через гидрозатвор.

Выброс в атмосферу: Очищенные газы отсасываются дымососом Д-18 и выбрасываются через дымовую трубу высотой 20 м [1].

Разрабатываемая система управления позволит улучшить качество сушёного концентрата (сейчас его часто пересушивают) и сократит энергопотребление за счёт оптимизации расхода газовоздушной смеси.

Для разработки системы управления была построена функциональная схема автоматического регулирования температуры. Система состоит из четырёх контуров: контур управления влажностью, контур управления температурой, контур регулирования расхода газа и контур регулирования расхода воздуха.

Внешний контур регулирования влажности формирует задание на температуру в зависимости от текущего отклонения влажности материала от уставки.

Внутренний контур регулирования температуры обеспечивает точное поддержание заданной температуры в рабочей зоне сушильной камеры путём управления расходом теплоносителя (газа). В свою очередь расход газа формирует задание на расход воздуха.

Такой подход позволяет:

достичь заданной влажности материала с высокой точностью (±0,1 %);

минимизировать энергопотребление за счёт управления нагревом;

Таким образом, предложенная функциональная структура системы управления обеспечивает автоматический, энергоэффективный и надёжный процесс сушки, соответствующий современным требованиям промышленной автоматизации и цифрового производства.

Функциональная схема разрабатываемой системы автоматического управления представлена на рисунке 2.

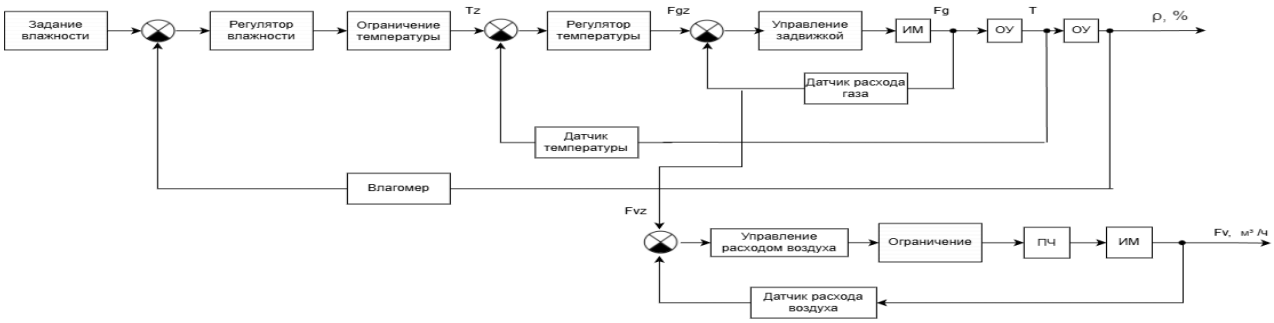


Рис. 2 – Функциональная схема системы автоматического управления

На основе функциональной схемы была разработана структурная схема автоматического управления. Для регулирования температуры, влажности и расхода воздуха используются ПИ регуляторы, а для управления расходом газа используется трёхпозиционное реле. Параметры регуляторов были подобраны путём многократного моделирования и представлены на структурной схеме. Структурная схема системы автоматического управления представлена на рисунке 3.

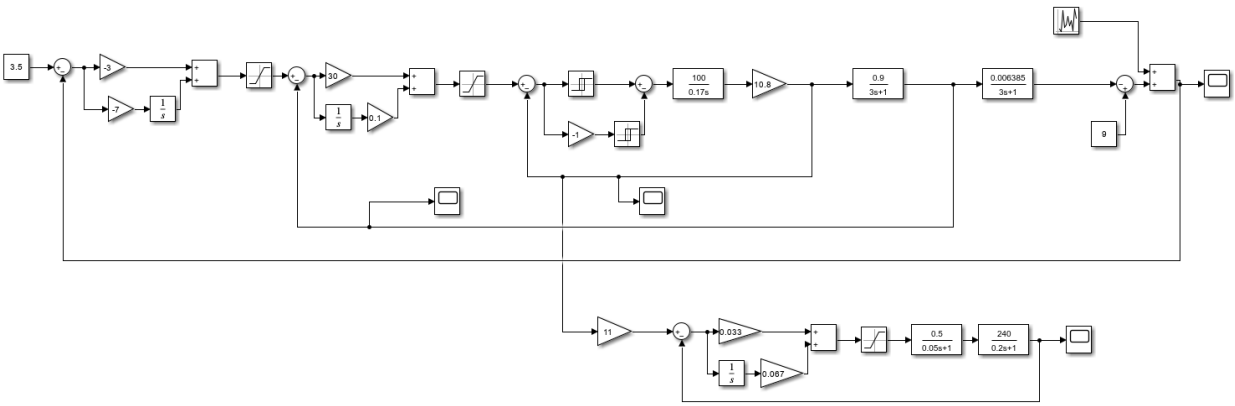


Рис. 3 – Структурная схема системы автоматического управления

После разработки математической модели контура регулирования сымитируем рабочий процесс. На вход подаётся концентрат, влажностью 5 %, который надо высушить до 3,5 %, температура в топке поднимается до 865 °С, график представлен на рисунке 4. Расход газа в начале был максимальным – 1080 м³/ч, а затем снизился до 960 м³/ч, график представлен на рисунке 5. Расход воздуха также в начале был максимальным – 12000 м³/ч, а потом снизился до 10550 м³/ч, график представлен на рисунке 6. График изменения влажности представлен на рисунке 7.

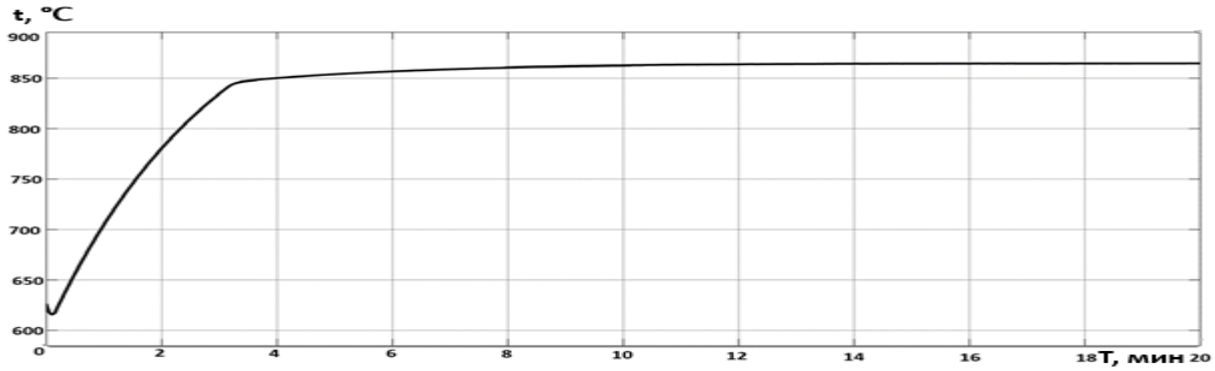


Рис. 4 – График изменения температуры в топке СБ

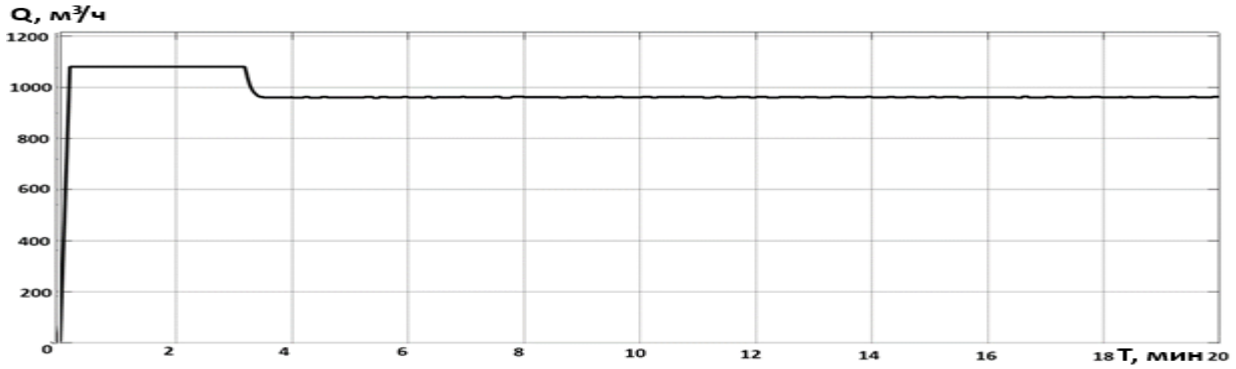


Рис. 5 – График изменения расхода газа

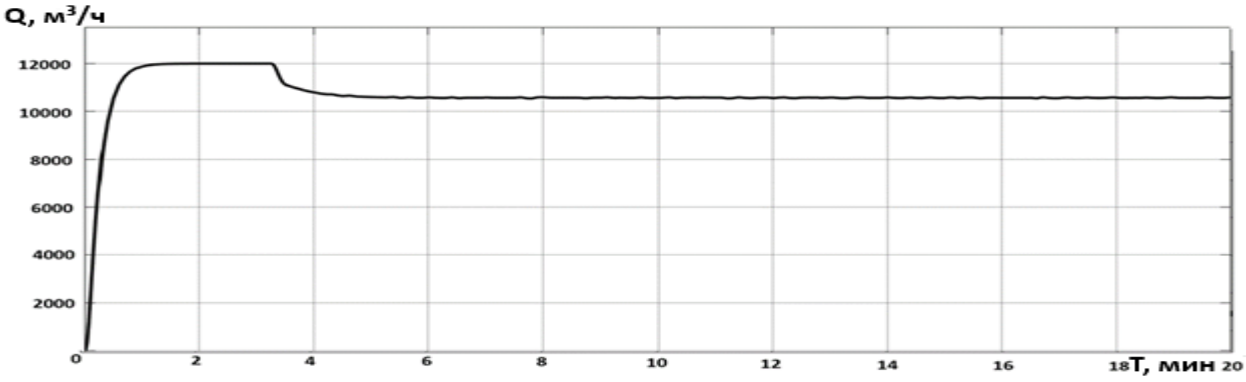


Рис. 6 – График изменения расхода воздуха

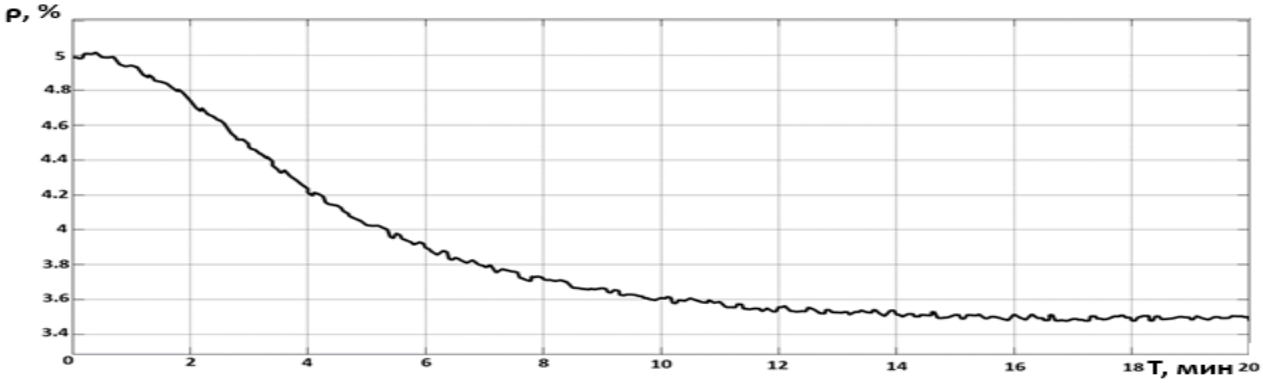


Рис. 7 – График изменения влажности концентрата при начальной влажности 5 %.

Таким образом, разрабатываемая система позволит повысить качество сушёного железорудного концентрата, а также уменьшить удельный расход газа за счет добавления автоматического управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДСФ. Техническое перевооружение системы газоочистки на печах. Техническое перевооружение системы газоочистки. Пояснительная записка. (Г30-05106-0002-03-01-ПЗ). / Е. А. Дворянинова – Железногорск: АО “Михайловский ГОК им. А. В. Варичева”, 2022. – 143 с. – Текст: непосредственный.

2. Скрубберы Вентури [Электронный ресурс]. – URL: https://cyklon-cn.ru/venturi-scrubbers.html (дата обращения: 31.03.2026).

ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОТЧЕТНОСТИ КЛАССНЫХ РУКОВОДИТЕЛЕЙ (NEXUS)

Маклецов Н.С., студент 3 курса
Научный руководитель – преподаватель **Неликаева Н.С.**
Областное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Железногорский горно-металлургический колледж», Курская область, г. Железногорск

В статье рассматривается разработка десктопного приложения NEXUS при помощи Python, с использованием VK и GigaChat API, сторонних библиотек (Tesseract и др.), PyQt6 для графического оформления, а также файлов JSON для записи динамической информации. Приложение предназначено для автоматизации формирования отчетов классных руководителей.

Цель исследования: Создание приложения для автоматизации формирования отчетов классных руководителей с использованием VK API и нейросети GigaChat.

Актуальность исследования:

Ежемесячное заполнение отчета о проведенных в группе мероприятиях занимает у классных руководителей значительное количество времени и требует обращения к разным источникам информации. Цель разработки предполагает разработку модуля сбора постов из групп ВКонтакте, реализацию алгоритма классификации и извлечения текста с изображений с помощью Tesseract OCR, настройку взаимодействия с GigaChat API для анализа данных и заполнения структуры отчета, а также создание пользовательского интерфейса для отбора записей и модуля автоматической генерации итогового документа.

Процесс разработки:

Логика работы приложения и последовательность обработки данных обобщены в схеме, представленной на рисунке 1.

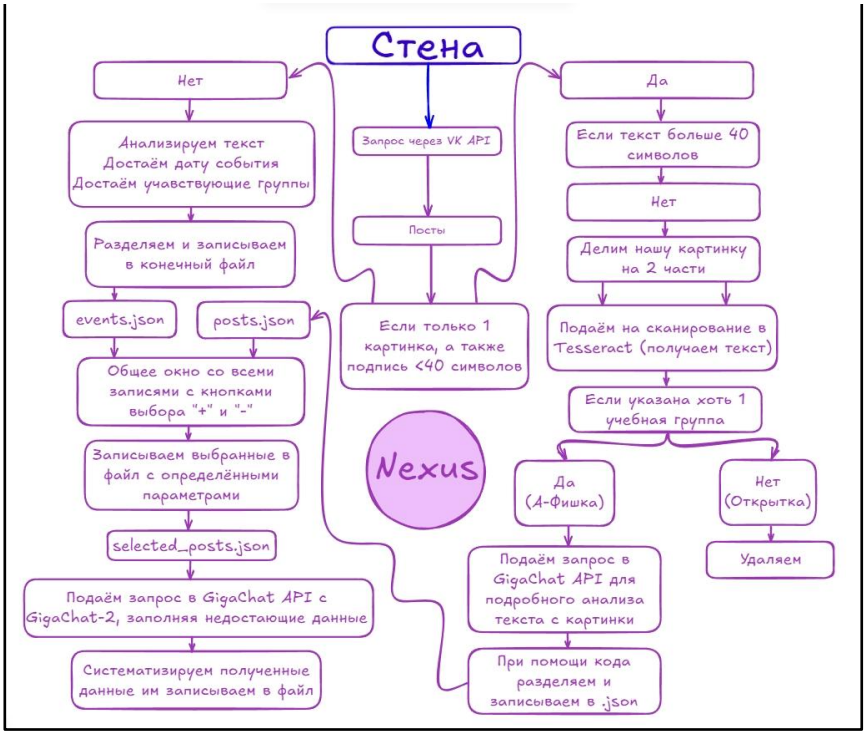


Рис. 1 – Логика работы приложения

Начну с того, что многие функции и логика приложения основана на связи с ИИ, что обеспечивает точность и надёжность конечного документа, который можно уже напрямую предоставлять, как отчёт. Проект написан на языке программирования Python с

использованием библиотек. Выбор языка программирования Python обоснован его интерпретируемостью, наличием встроенных средств для работы с форматом JSON, а также широким спектром библиотек, обеспечивающих взаимодействие с внешними API и обработку графических данных. В разработке было решено использовать GigaChat, так как этот ИИ не боится последних блокировок [1].

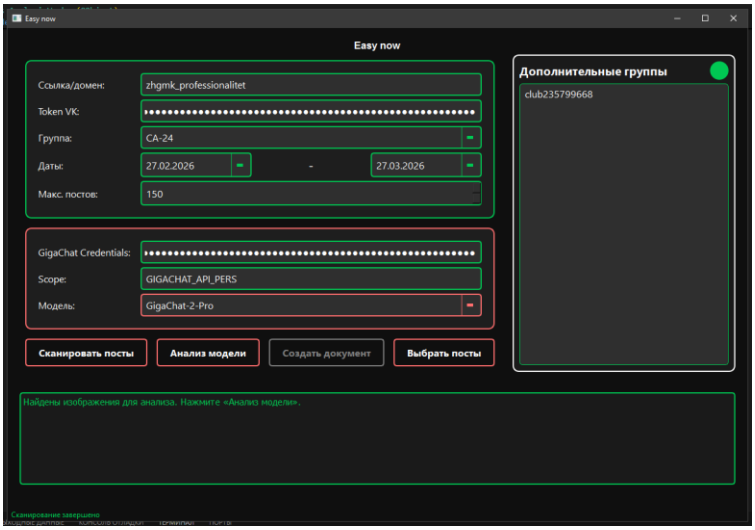


Рис. 2 – Внешний вид приложения

На рисунке 2 представлен внешний вид итогового приложения. Чтобы систематизировать описание работы – мы пройдёмся по самым важным функциям.

Для начала нам нужно просканировать определённые группы ВКонтакте, собрать с них посты и обработать полученную информацию, что мы реализовали при помощи VK API. Всё это входит в нашу кнопку «Сканировать посты». В группах могут встретиться 3 типа постов - поздравления, информационные (текстовые) посты, а также А-Фишки, и для каждого был придуман свой подход [2][4].

Для информационных постов сначала нам нужно проверить, не пустое ли значение текста. Если это так - нам попался репост другой группы, с которого мы также достаём информацию. После этого выкачиваем с него текст, репост, ссылку, домен, указанные группы, а также дату. Интересная деталь с датами и группами - код ищет их в тексте, подробно анализируя содержание текста. В итоге у нас получается список, пример которого приведён на рисунке 3.

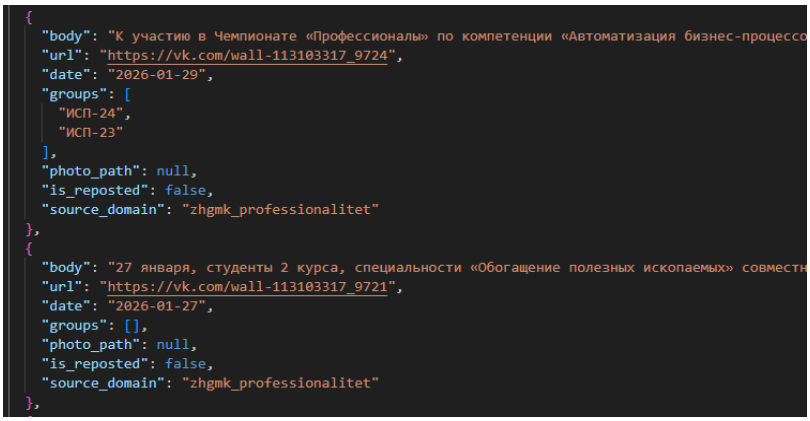


Рис. 3 – Пример списка постов

В случае если пост не информационный - у нас есть 2 критерия: у поста подпись к фотографии составляет не более 40 символов и в нём содержится только 1 картинка. Если пост

на этом моменте прошёл, то он отправляется на следующий этап проверки. У нас остались открытки и нужные нам А-Фишки, которые нам нужно разделить:

1. А-Фишки по своей основной структуре это 2 разделённых столбца текста.
2. Открытки-поздравления, это просто рисунок с надписью.

Исходя из этого я решил делить все картинки поперёк на 2 части и обе отправлять в Tesseract - библиотека для анализа текста с фото. После того, как мы достали текст с двух кусочков - мы проверяем, есть ли в извлечённом тексте хотя-бы одна группа. Если группа найдена – мы нашли А-Фишку, иначе – это открытка, которая нами удаляется.

Теперь с отобранных А-Фишек нам нужно достать качественный текст. На данном этапе мы впервые обращаемся к ИИ. При помощи кнопки «Анализ Модели» подаём запрос в GigaChat API. Наша стратегия: сделать запрос, получить данные и записать их в файл для дальнейшей обработки. На рисунке 4 я показал запрос к ИИ [3].

```
prompt = (
    "Ты получаешь изображение с расписанием мероприятий. "
    "Для каждого мероприятия на изображении выведи одну строку в формате:\n"
    "Название | Описание | Место проведения | Группы\n"
    "где группы перечислены через запятую.\n"
    "Пример:\n"
    "Интерактивная викторина | Интерактивная викторина 'До дна пишешь' в читальном зале. | читальный зал | ПД-23-2, И-23, ПД-23\n"
    "Если место не указано, впиши что-то подходящее по смыслу (колледж, территория колледжа и т.д.). "
    "Если групп несколько, перечисли их через запятую. Если группа не указана, оставь поле пустым.\n"
    "Не добавляй никаких пояснений, только строки в указанном формате, по одному мероприятию на строку."
)

response = client.chat(
    Chat(
        messages=[
            Messages(
                role=MessagesRole.USER,
                content=prompt,
                attachments=[file_info.id_]
            )
        ],
        temperature=0.1,
    )
)
```

Рис. 4 – Запрос для ИИ анализа фото

После получения ответа модели нужную информацию мы записываем в JSON файл, пример наполнения которого предоставлен на 5 рисунке.

```
{
  "name": "Кинодень «День памяти жертв Холокоста»",
  "description": "Кинодень 26. Приглашается группа ИСП-25",
  "location": "кинозал",
  "groups": [
    "ИСП-25"
  ],
  "date": "2026-01-26",
  "source_image": "2026-01-26_-113103317_9710.jpg"
},
{
  "name": "«Урок мужества»",
  "description": "с приглашением участников СВО. Приглашаются Чистый зал группы: ТМ-24, ГЭМ-24-2",
  "location": "Чистый зал",
  "groups": [
    "ТМ-24",
    "ГЭМ-24-2"
  ],
```

Рис. 5 – Мероприятия с изображения

На этом этапе мы имеем 2 файла со всей нужной информацией. Далее необходимо отобрать записи, которые будут использоваться для создания документа. При нажатии на кнопку «Отобрать посты» перед пользователем появляется окно, где он должен выбрать все нужные записи кнопкой «+» и нажать на «Сохранить». Ниже показано окно приложения выбора постов (Рис. 6).

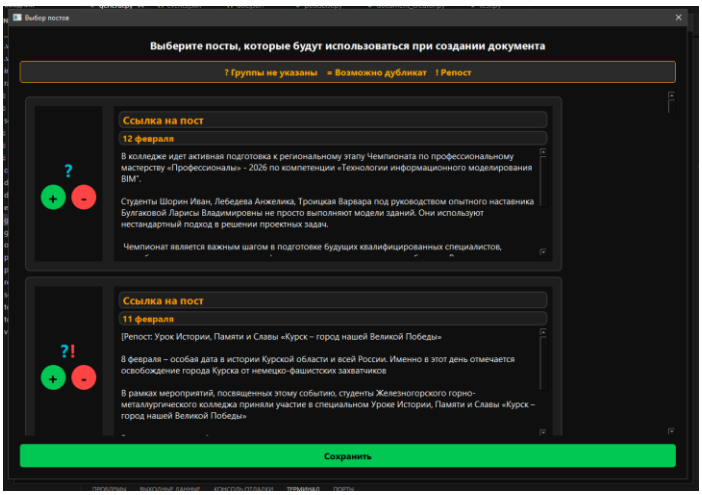


Рис. 6 – Окно выбора постов

После нажатия на кнопку сохранения у нас создаётся третий список, пример которого предоставлен на рисунке 7.

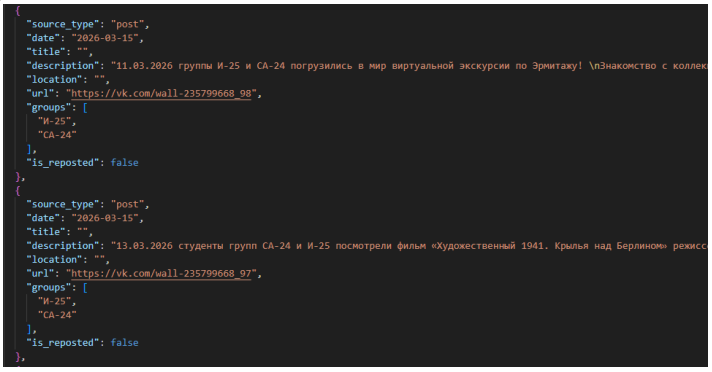


Рис. 7 – Посты для создания конечного документа

На этом этапе у нас всё ещё недостаточно информации для заполнения всех столбцов конечной таблицы. Теперь мы делаем второй запрос, в котором мы уже работаем с простым текстом. Делаем запрос через обычный GigaChat-2, а результат мы обрабатываем кодом и записываем в конечный файл [3]. В итоге у нас получилось 4 файла. Такое разделение по этапам и разным файлам позволяет сохранять все этапы работы, а также упрощает работу с полученной информацией. В ходе выполнения запроса GigaChat заполнил недостающие поля, согласно нашей структуре. Ниже представлен пример заполненных данных (Рис. 8).

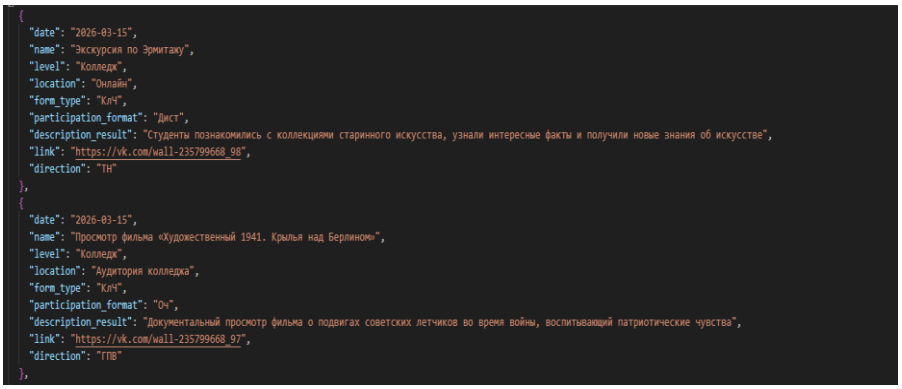


Рис. 8 – Конечные данные для создания документа

Теперь у нас есть список со всеми необходимыми данными, осталось только создать документ. В списке вы могли заметить сокращения. При создании документа код сам их

раскроет, и у нас всё будет гармонично и правильно. Ниже показан пример конечного документа (Рис. 9).

№ п/п	Дата	Название мероприятия	Уровень	Место проведения	Форма проведения мероприятия (классный час, волонтерская акция, родительское собрание, презентация, мастер-класс, конференции, форумы, региональные и всероссийские акции, проекты, иные)	Формат участия в мероприятии (очный, дистанционный, смешанный)	Краткое описание, результат	Ссылки на публикации
Мероприятия гражданско-патриотической направленности								
1	2026-03-24	Интерактивная игра «1418»	Колледж	Онлайн	Иные формы	Дистанционный	Уникальная онлайн-игра, посвященная Великой Отечественной войне, способствующая подготовке студентов к Диктанту Победы	https://vk.com/wall-113103317_10015
Мероприятия добровольческой направленности								
Мероприятия в рамках духовно-нравственного воспитания								
1	2026-03-07	Документальный фильм «ДАЛЁКОЕ БЛИЗКОЕ»	Колледж	Кинозал колледжа	Иные формы	Очный	История о современных героях, защищающих природу и борющихся с преступностью, воспитывающая активную жизненную позицию	https://vk.com/wall-235799668_72
Мероприятия естественно-научной направленности								
1	2026-03-20	Просмотр фильма «Первый Оскар»	Колледж	Кинозал колледжа	Иные формы	Очный	Документальный фильм о студентах-фронтовиках, снимающих битву за Москву, получил положительные отзывы зрителей	https://vk.com/wall-235799668_107

Рис. 9 - Конечный документ

Приложение Nexus значительно упрощает работу классных руководителей ОБПОУ «ЖГМК», и позволяет быстро собрать, проанализировать и обработать с помощью ИИ большой объем информации, сформировав готовый отчет [2]. Практическая значимость работы подтверждается внедрением приложения в рабочий процесс, где оно позволило сократить время подготовки отчета с нескольких часов до 3 минут. Дальнейшее развитие проекта может включать расширение источников данных (Telegram, государственные порталы) и добавление аналитических функций, кроме того, предусматривается возможность создания веб приложения, бота в телеграмме или мобильной версии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов, А.А. Анализ социальных сетей пользователей «ВКонтакте» с помощью Python / А.А. Смирнов, А.Д. Кавеева - Текст: непосредственный - 2024 - С. 210-217.
2. Зубков, А.В. Обзор применения больших языковых моделей в информационных задачах систем поддержки принятия решения на примере здравоохранения / А.В. Зубков, М.А. Евлахова - Текст: электронный - 2024 - С. 12-21.
3. GigaChat API: официальный сайт. - Москва. - URL: https://developers.sber.ru/portal/products/gigachat-api (дата обращения: 06.03.2026). - Текст: электронный
4. VK API: официальный сайт. - Москва. - URL: https://dev.vk.com/ru (дата обращения: 10.03.2026). - Текст: электронный.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РЕКУРРЕНТНОГО ОПЕРАТОРА АППРОКСИМАЦИИ ЗАВИСИМОСТЕЙ В СВЯЗАННЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ЧЕРНО-БЕЛОГО ГРАФА

Малышенко М.Р., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., ст. преподаватель **Жуков П.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Методы машинного обучения широко применяются в задачах анализа данных, прогнозирования и управления техническими системами. Их использование охватывает различные области, включая промышленность, где они применяются для предиктивной аналитики и повышения эффективности работы оборудования [1]. Одной из ключевых задач является построение регрессионных моделей, позволяющих аппроксимировать зависимости между входными параметрами и целевыми величинами.

В промышленности, в частности в металлургии и теплоэнергетике, актуальной является задача прогнозирования параметров технологических процессов, включая температуру в печах. В исследованиях отмечается, что применение методов машинного обучения позволяет эффективно прогнозировать характеристики работы доменных печей и других промышленных установок [2].

Современные подходы к решению задач регрессии во многом основаны на ансамблевых методах машинного обучения. В частности, методы градиентного бустинга формируют модель в виде композиции простых алгоритмов, что позволяет существенно повысить точность предсказания [3]. В общем виде бустинг представляет собой подход, позволяющий преобразовывать совокупность слабых моделей в более точную итоговую модель.

Несмотря на высокую точность, ансамблевые методы имеют ряд ограничений. В частности, они рассматривают объекты как независимые наблюдения и не учитывают структурные взаимосвязи между ними. Кроме того, такие модели часто обладают низкой интерпретируемостью и могут рассматриваться как «черный ящик», что ограничивает их применение в задачах, требующих анализа причинно-следственных связей [4].

При моделировании физических процессов важную роль играет учет взаимосвязей между элементами системы. Как показывают исследования, сложные технологические процессы характеризуются нелинейными зависимостями и большим числом взаимосвязанных факторов, что требует использования более сложных моделей [5].

В связи с этим возникает необходимость разработки методов машинного обучения, способных учитывать структуру данных и обеспечивать интерпретируемость результатов. В данной работе рассматривается подход, основанный на использовании графового рекуррентного оператора аппроксимации, позволяющего учитывать взаимосвязи между элементами данных.

Целью работы является сравнительный анализ графового метода аппроксимации и алгоритма LSBoost при решении задачи регрессии, связанной с прогнозированием температуры в печи.

Рассматриваемый подход к построению моделей регрессии основан на представлении данных в виде связной структуры, описываемой ориентированным графом. В отличие от классических методов машинного обучения, где объекты рассматриваются независимо, данный подход учитывает взаимосвязи между элементами данных, что особенно важно при моделировании сложных физических процессов.

Пусть задано пространство входных данных (X) и пространство выходных данных (Y), а также выборка наблюдений ($(x_i, y_i)_{i=1}^{N}$). Требуется восстановить неизвестную зависимость

(y = f(x)) путем построения оператора аппроксимации ($A: X \to Y$), наилучшим образом приближающего данную зависимость.

В рамках рассматриваемого подхода оператор аппроксимации определяется с учетом связей между объектами и имеет рекуррентный характер. Формально он может быть записан следующим образом:

$$A(x_i) = F\left(x_i, \{A(x_j) \middle| x_j \in N(x_i)\}\right)$$

где $N(x_i)$ - множество объектов, связанных с x_i, а функция (F) описывает механизм учета этих связей.

Для формализации модели вводится ориентированный граф (G = (V, E)), где (V) - множество вершин, соответствующих объектам данных, а (E) - множество направленных ребер, задающих зависимости между ними. Каждой вершине сопоставляется некоторый базовый аппроксиматор (L_v), принимающий входные данные и формирующий локальную оценку.

С учетом влияния соседних вершин значение функции в вершине определяется следующим образом:

$$F_v = L_v - G_{out}(v) + G_{in}(v)$$

где $G_{out}(v)$ описывает влияние вершины на соседей, а $G_{in}(v)$ - влияние соседей на данную вершину.

Функции зависимостей задаются в виде:

$$G_{out}(v) = \sum_{e \in E_{out}(v)} (\alpha_e \cdot F_v + \beta_e)$$

$$G_{in}(v) = \sum_{e \in E_{in}(v)} (\alpha_e \cdot F_u + \beta_e)$$

где α_e и β_e - параметры ребер графа, отражающие силу и смещение влияния между вершинами.

В результате преобразований выражение для значения функции в вершине принимает компактный вид:

$$F_v = \frac{L_v + G_{in}(v) - \sum_{e \in E_{out}(v)} \beta_e}{\sum_{e \in E_{out}(v)} (\alpha_e + 1)}$$

Данная формула определяет стационарное состояние системы взаимосвязанных аппроксиматоров и фактически задает рекуррентный оператор аппроксимации на графе.

Ключевой особенностью рассматриваемого подхода является возможность задания произвольной функции L_v, удовлетворяющей условиям непрерывности и ограниченности. Это позволяет использовать как простые аналитические функции, так и более сложные модели, включая нейронные сети.

В отличие от классических нейросетевых и ансамблевых методов, в данной модели явно учитывается структура взаимосвязей между объектами, что обеспечивает сохранение контекстной информации. Это особенно важно при решении задач, связанных с моделированием физических процессов, где взаимодействие элементов системы играет определяющую роль.

Одним из наиболее распространенных подходов к решению задач регрессии являются ансамблевые методы машинного обучения, в частности методы бустинга. Данные методы основаны на построении композиции слабых моделей, каждая из которых последовательно уменьшает ошибку предсказания, что позволяет получать высокую точность итоговой модели [6].

Алгоритм LSBoost (Least Squares Boosting) является частным случаем градиентного бустинга, ориентированным на минимизацию квадратичной функции потерь. В рамках данного подхода задача обучения интерпретируется как процесс оптимизации функции потерь

в функциональном пространстве, где на каждой итерации добавляется новая модель, направленная на уменьшение текущей ошибки [7].

Основная идея метода заключается в поэтапном построении модели в виде суммы базовых алгоритмов:

$$F_M(x) = \sum_{m=1}^{M} \alpha_m h_m(x)$$

где $h_m(x)$ - базовые модели (например, решающие деревья), а (α_m) — коэффициенты, определяющие вклад каждой модели в итоговое предсказание.

На начальном этапе задается простая модель $F_0(x)$, например, константа, минимизирующая среднеквадратичную ошибку. Далее на каждой итерации (m) выполняются следующие шаги:

1. Вычисляются остатки (ошибки прогнозирования):

$$r_i^{(m)} = y_i - F_{m-1}(x_i)$$

2. Строится новая модель $(h_m(x))$, аппроксимирующая остатки $(r_i^{(m)})$,
3. Определяется коэффициент (α_m), минимизирующий функцию потерь,
4. Обновляется итоговая модель:

$$F_m(x) = F_{m-1}(x) + \alpha_m h_m(x)$$

Таким образом, каждая новая модель обучается на ошибках предыдущей композиции, постепенно улучшая точность предсказания. С точки зрения функционального анализа, данный процесс можно интерпретировать как итеративное приближение функции f(x) в пространстве базовых алгоритмов [8].

С формальной точки зрения, методы бустинга могут рассматриваться как композиционные операторы аппроксимации, в которых итоговая модель формируется путем взвешенного суммирования последовательности простых операторов. Это позволяет добиться высокой точности даже при использовании относительно простых базовых моделей [6].

Несмотря на высокую эффективность, алгоритм LSBoost обладает рядом существенных ограничений. Во-первых, итоговая модель представляет собой сложную композицию большого числа базовых алгоритмов, что затрудняет ее интерпретацию. Во-вторых, процесс построения модели не учитывает структурные взаимосвязи между объектами данных, поскольку каждая итерация ориентирована исключительно на минимизацию глобальной ошибки.

Кроме того, параметры модели (веса (α_m), структура базовых алгоритмов) подбираются численными методами оптимизации и не имеют явной физической интерпретации. В результате модель может демонстрировать высокую точность, однако оставаться «черным ящиком», что ограничивает ее применение в задачах, требующих объяснимости и учета контекста [9]. Таким образом, LSBoost является мощным инструментом для решения задач регрессии, однако его использование может быть ограничено в случаях, когда необходимо учитывать сложные взаимосвязи между объектами и обеспечивать интерпретируемость модели.

Для оценки эффективности рассмотренных подходов проведем сравнительный анализ графового рекуррентного оператора аппроксимации и алгоритма LSBoost в контексте задачи регрессии, связанной с прогнозированием температуры в печи.

Оба метода направлены на решение задачи аппроксимации зависимости между входными и выходными данными, однако используют принципиально различные подходы к построению модели. LSBoost реализует ансамблевый подход, формируя итоговую модель в виде композиции простых алгоритмов, в то время как графовый рекуррентный оператор учитывает структурные взаимосвязи между объектами данных.

Сравнение методов по ключевым характеристикам представлено в таблице 1.

Таблица 8 – Сравнение методов аппроксимации

Критерий	**Графовый рекуррентный оператор**	**LSBoost**
Принцип построения	Рекуррентная модель на графе с учетом связей	Ансамбль слабых моделей
Учет взаимосвязей данных	Учитываются явно через структуру графа	Не учитываются
Контекстная чувствительность	Высокая	Низкая
Интерпретируемость	Сохраняется (параметры имеют смысл)	Ограниченная («черный ящик»)
Физическая интерпретация	Возможна	Отсутствует
Гибкость задания модели	Высокая (произвольные L_v)	Ограничена выбором базовых моделей
Вычислительная сложность	Потенциально высокая	Средняя
Точность	Зависит от структуры графа	Высокая на стандартных задачах

Как следует из таблицы, ключевым преимуществом графового подхода является учет взаимосвязей между объектами. Это особенно важно в задачах моделирования физических процессов, где поведение системы определяется взаимодействием ее элементов. В рассматриваемой задаче прогнозирования температуры в печи такие зависимости могут отражать тепловое влияние различных зон и элементов системы друг на друга. В отличие от этого, алгоритм LSBoost рассматривает объекты как независимые наблюдения и оптимизирует модель глобально, минимизируя функцию потерь. Это позволяет достигать высокой точности на широком классе задач, однако приводит к игнорированию структурных особенностей данных. [10]

С точки зрения интерпретируемости, графовый рекуррентный оператор обладает существенным преимуществом. Параметры модели (веса ребер, функции в вершинах) могут быть интерпретированы в терминах взаимодействия элементов системы. В то же время, в LSBoost вклад отдельных моделей и параметров не имеет явного физического смысла, что затрудняет анализ полученных результатов. Однако следует отметить, что за счет своей универсальности и простоты реализации LSBoost остается эффективным инструментом для решения широкого круга задач регрессии. В частности, при отсутствии выраженной структуры данных или необходимости интерпретации, данный метод может быть предпочтительным.

Таким образом, выбор между рассматриваемыми подходами определяется особенностями решаемой задачи. Для задач, в которых важна интерпретируемость и учет структурных зависимостей (например, моделирование физических процессов), более перспективным является использование графового рекуррентного оператора. В то же время, для стандартных задач анализа данных LSBoost может обеспечивать более простое и эффективное решение.

В статье проведено сравнение графового композиционного оператора аппроксимации и алгоритма LSBoost при решении задачи регрессии. Показано, что LSBoost обеспечивает высокую точность предсказаний, однако не учитывает взаимосвязи между объектами и обладает ограниченной интерпретируемостью. В отличие от него, графовый подход позволяет учитывать структурные зависимости в данных и формирует более детерминированную модель, параметры которой имеют содержательный смысл. Это особенно важно при моделировании физических процессов, таких как прогнозирование температуры в печи.

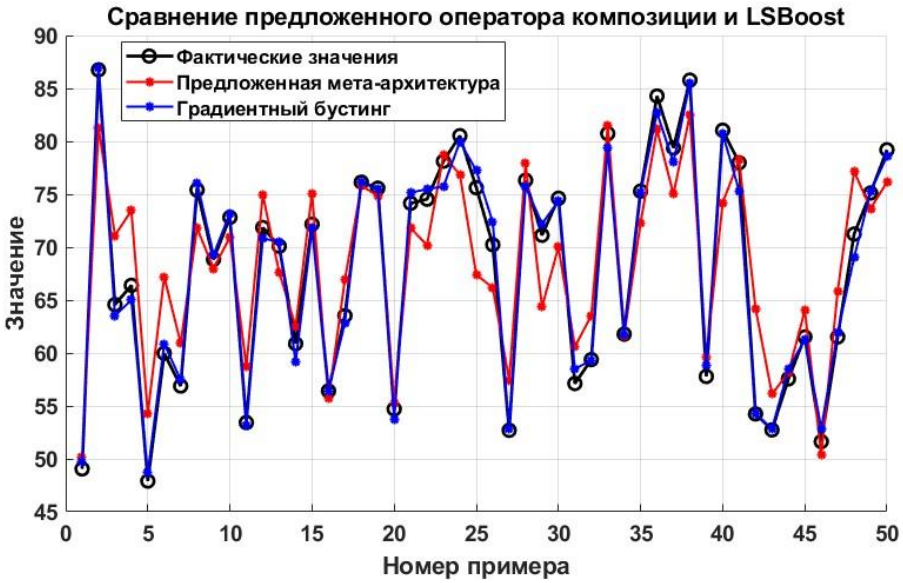


Рис. 2 – График сравнения модели

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барбасова Т. А. Применение методов машинного обучения для прогнозирования производительности доменной печи // CyberLeninka. – 2023. — Текст: электронный // Научная электронная библиотека [сайт]. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metodov-mashinnogo-obucheniya-dlya-prognozirovaniya-proizvoditelnosti-domennoy-pechi (дата обращения: 08.04.2026).

2. Макаров С. М. Прогнозирование производственных процессов с использованием градиентного бустинга // CyberLeninka. – 2025. — Текст: электронный // Научная электронная библиотека [сайт]. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-urovnya-otkloneniy-v-proizvodstvennom-protsesse-s-pomoschyu-regressii-na-osnove-gradientnogo-bustinga (дата обращения: 08.04.2026).

3. Шакиров А. А. Машинное обучение в прогнозировании теплопотерь в системах теплоснабжения // CyberLeninka. – 2024. — Текст: электронный // Научная электронная библиотека [сайт]. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-obuchenie-v-prognozirovanii-teplopoter-v-sistemah-teplosnabzheniya-na-primere-dannyh-goroda-kazan-za-period-2020-2023-gg (дата обращения: 08.04.2026).

4. Алексеева Е. С. Сравнительный обзор методов машинного обучения для анализа данных // CyberLeninka. – 2024. — Текст: электронный // Научная электронная библиотека [сайт]. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-obzor-metodov-mashinnogo-obucheniya-dlya-analiza-bolshih-dannyh (дата обращения: 08.04.2026).

5. Методы анализа данных в интеллектуальных системах // Wikipedia. – 2009. — Текст: электронный // Свободная энциклопедия [сайт]. — URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Методы_анализа_данных_в_интеллектуальных_системах (дата обращения: 08.04.2026).

6. Gradient Boosting — метод машинного обучения // Wikipedia. — Текст: электронный // Свободная энциклопедия [сайт]. — URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Gradient_boosting (дата обращения: 08.04.2026).

7. Seyedzavvar M. Comparative performance analysis of LSBoost models // Expert Systems with Applications. – 2025. — Текст: электронный // ScienceDirect [сайт]. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417425017324 (дата обращения: 08.04.2026).

8. Исследование методов LSBoost в задачах регрессии // ScienceDirect. – 2025. — Текст: электронный // Образовательная платформа [сайт]. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779825009642 (дата обращения: 08.04.2026).

9. LSBoost: Explainable AI using Gradient Boosted Randomized Networks with examples in R and Python // R-bloggers. – 2020. — Текст: электронный // Образовательная платформа [сайт]. — URL: https://www.r-bloggers.com/2020/07/lsboost-explainable-ai-using-gradient-boosted-randomized-networks-with-examples-in-r-and-python/ (дата обращения: 08.04.2026).

10. Florek P. Benchmarking gradient boosting algorithms // arXiv. – 2023. — Текст: электронный // Архив научных публикаций [сайт]. — URL: https://arxiv.org/pdf/2305.17094 (дата обращения: 08.04.2026).

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ СТАНДАРТЫ ОБУЧЕНИЯ В СПО: АДАПТАЦИЯ К ЦИФРОВОЙ РЕАЛЬНОСТИ И ЗАПРОСАМ РЫНКА ТРУДА

Медведева О.Е., преподаватель**, Лазькова Г.М.,** преподаватель
Областное государственное автономное профессиональное образовательное учреждение «Старооскольский индустриально-технологический техникум», Россия, г. Старый Оскол 309513, микрорайон Студенческий, 5а,

Современное образование в системе среднего профессионального образования (СПО) неотделимо от меняющихся условий рынка труда и стремительного внедрения цифровых технологий. В этих условиях особую актуальность приобретают практико-ориентированные стандарты обучения, которые помогают выпускникам не только получить теоретические знания, но и сформировать востребованные навыки, необходимые для успешной карьеры в цифровой экономике.

Подготовка квалифицированного специалиста новой формации, соответствующего современному уровню развития выбранной отрасли – это задача, которая поставлена перед учебными организациями. Какими компетентностями должен обладать будущий специалист для гарантированного трудоустройства и быстрой адаптации на рабочем месте? Здесь можно отметить тот факт, что предприятия редко сотрудничают с учебным заведением при планировании и разработке учебно-методической документации, где должны быть отражены все нюансы эффективного обучения специалиста. Остаются актуальными вопросы: как добиться 100% трудоустройства выпускников колледжа по специальности; какая модель обучения эффективная; как поднять престиж учебного заведения на рынке образовательных услуг; как подготовить востребованного специалиста новой формации в наших условиях? Традиционный образовательный процесс дает студентам учебные знания, но привязка этих знаний к конкретной профессиональной деятельности происходит эпизодически. При подготовке специалистов разных отраслей среди важнейших проблем подготовки студентов можно выделить: сложность организации практического обучения, максимально приближенного к реалиям; ограниченный доступ к сложным техническим средствам и технологиям или информации; невозможность решать ситуационные задачи в реальных условиях или проводить эксперименты в натурных условиях.

Вызовы цифровой эпохи для СПО

Цифровизация и автоматизация всех сфер жизни привели к трансформации требований к квалификациям специалистов. Работодатели ожидают от молодых специалистов:

- умения работать с современными цифровыми инструментами и программным обеспечением;
- навыков аналитики больших данных и креативного решения нестандартных задач;
- гибкости и способности быстро обучаться новым технологиям в условиях постоянных изменений.

В то же время традиционные стандарты обучения часто сосредоточены на теоретическом материале и устаревших методах преподавания, что снижает конкурентоспособность выпускников СПО на рынке труда.

Практико-ориентированные стандарты: что это?

Практико-ориентированные стандарты — это образовательные нормы и требования, ориентированные на формирование конкретных профессиональных компетенций через активную практическую деятельность. В рамках СПО это означает:

- внедрение реальных рабочих кейсов и проектов в учебный процесс;
- использование цифровых симуляторов и тренажёров;
- организация производственных практик и стажировок с реальными работодателями;
- развитие soft skills наряду с техническими знаниями.

Студенты со второго семестра первого курса уже выполняют проекты в подгруппах. Им выдаются определенные средства для самостоятельной закупки материалов, эти траты нужно рассчитать, обосновать. Они самостоятельно могут усложнить задание и найти пути

его решения, при этом используются компьютерные программы (например, по черчению – CAD), программирование, так как работа требует выполнения операций на станках с программным управлением. Студенты получают консультации по физике, математике, химии по мере необходимости. У них высокая мотивация к обучению, так как они нуждаются в эффективном освоении теории для решения общей практической задачи. Они сами оформляют всю документацию по проекту, включая чертежи, расчеты, отчет о результатах работы и его представление(презентацию). Важно осмысленное действие, которое ведет к качественному результату в силу ведения качественного процесса деятельности

Примером применения практико-ориентированных стандартов обучения в СПО: в нашем учебном заведении является реализация Проекта «Профессионалитет». В рамках проекта сформирован образовательно-производственные кластеры для интеграции техникума и организаций реального сектора экономики. при участии опорного работодателя которым в нашем учебном заведении является Стойленский ГОК создаются учебно-производственные комплексы, разрабатываются новое содержание и структура образовательных программ. Около 70% занятий в этой структуре отводится на практику на реальных производствах.

В тесном сотрудничестве техникум и якорной предприятие «СГОК» предприятие принимает студентов на ознакомительные экскурсии и выездные практические занятия. В подразделениях завода на втором курсе студенты проходят учебную практику в различных цехах. На третьем и четвертом курсах проходят всю производственную практику в цехах – заказчиках.

Организацию практико-ориентированного обучения мы решили строить на принципах дуальности. То есть такой форме организации образовательного процесса, когда до 70 % учебного времени уделяется практике и только 30 % – теоретической подготовке. При этом производственная практика, начиная с 3 курса, на 100 % реализуется в условиях действующего производства, на реальном рабочем месте по профессиям, которые должен освоить практикант. Таким образом до конца обучения, почти 1,5 года студент адаптируется, обучается умениям по профессии, получает первый необходимый опыт. При этом полностью учитываются и реализуются требования работодателя к будущему работнику.

Применение деятельностного подхода позволяет рассмотреть процесс организации практик и формирования компетенций по рабочим профессиям, который осуществляется поэтапно в результате практической и профессиональной деятельности на производстве. Данный подход способствует организации и управлению целенаправленной практической деятельностью студентов в соответствии с их будущей профессиональной деятельностью.

В процессе освоения профессии мы выделили следующие этапы:

1. Адаптация студента к новой для него производственной среде, социальному окружению и к будущей специальности. На этом этапе происходит принятие новой образовательной среды, у практиканта формируются новые способы поведения, направленные на гармонизацию отношений с окружающими, происходит смена мотивов практической деятельности в процессе формирования умений и навыков по осваиваемой профессии.

2. Получение знаний. В процессе освоения профессии происходит осознание и понимание теоретического материала, изученного на спецпредметах.

Наставник осуществляет консультационную деятельность, помогая восполнить или дополнить недостающие пробелы, необходимые для понимания как выполнять ту или иную производственную операцию.

3. Наставник, опираясь на мотивы студентов, помогает им освоить трудовые операции, научиться решать производственно-технические задачи. Сопровождает их на всем пути формирования навыков, сопоставляет познавательные и профессиональные мотивы обучающихся.

4. По окончании периода обучения рабочей профессии осуществляется оценка практиканта через выполнение квалификационной работы и сдачи экзамена на разряд в квалификационной комиссии. На данном этапе создается положительная установка на

дальнейшее повышение квалификации, формируется мотивация перспективы через осознание готовности к самостоятельной профессиональной деятельности

Преимущества для студентов и рынка труда

- Выпускники СПО обладают не только знаниями, но и реальным опытом решения профессиональных задач.
- Быстрая адаптация к цифровым условиям труда и изменениям технологий.
- Повышение конкурентоспособности и востребованности на рынке труда.
- Умение работать в командах и развивать коммуникативные навыки.

Практико-ориентированные стандарты в СПО — это не просто тренд, а необходимость. Адаптация к цифровой реальности и запросам рынка труда требует комплексного подхода: от обновления программ до модернизации инфраструктуры. Успех будет зависеть от способности колледжей и техникумов оперативно реагировать на изменения, выстраивать диалог с работодателями и внедрять инновационные технологии. Только так система СПО сможет готовить специалистов, которые будут конкурентоспособны в условиях быстро меняющегося мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Истомина В. В. «О практико-ориентированном обучении в среднем профессиональном образовании» // Инновационное развитие профессионального образования. — 2019. — №1 (21).

2. Иванов М. А., Павлова А. В. «Метод кейсов как средство формирования профессиональных компетенций студентов организации среднего профессионального образования (на примере автодорожного техникума)» // Проблемы современного педагогического образования. — 2020. — №69-3.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ИНФОРМАТИКЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Медведева О.Е., преподаватель, **Лазькова Г.М.,** преподаватель
Областное государственное автономное профессиональное образовательное учреждение «Старооскольский индустриально-технологический техникум», Россия, г. Старый Оскол 309513, микрорайон Студенческий, 5а

Проблема развития профессиональных компетенций современных студентов среднего профессионального образования (СПО) в области информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) остается важной как с теоретической, так и с практической точки зрения.

Профессиональная компетентность определяется главным образом уровнем собственно профессионального образования, опытом и индивидуальными способностями человека, его мотивированным стремлением к непрерывному самообразованию и совершенствованию, творческим и ответственным отношением к делу.

Сегодня от выпускников требуют гораздо больше, чем раньше. Современный профессионал должен:

- свободно обращаться к разнообразным источникам информации, эффективно используя ИКТ и технические средства;
- быстро и качественно обрабатывать большие объемы данных, выбирая оптимальные технологии для решения задач;
- иметь компетенции в смежных областях;
- постоянно стремиться к самосовершенствованию, саморазвитию и реализации своих возможностей [1].

Одной из актуальных задач образования на сегодняшний день является подготовка специалистов, владеющих новыми информационными технологиями.

Для успешного решения этих проблем необходимо реализовывать системно-деятельностный подход в обучении, который по своей сути и является методологической основой ФГОС СПО.

Формирование профессиональной компетентности — это управляемый процесс становления профессионала, включающий обучение, развитие и самосовершенствование специалиста.

Одним из условий успешной адаптации в современном информационном обществе является наличие у специалиста ИКТ-компетенции — комплекса профессиональных знаний, навыков и опыта, позволяющих эффективно применять информационные технологии для решения профессиональных задач.

ИКТ-компетентность vs. функциональная грамотность

В педагогическом сознании ИКТ-компетенцию традиционно связывали с функциональной грамотностью — умением пользоваться компьютером и современным оборудованием. Однако анализ показывает, что наличие технических навыков само по себе не гарантирует способность использовать их в реальной деятельности. Главное — сформировать опыт практического применения ИКТ в профессиональной сфере для достижения конкретных целей.

По мнению ученых подготовка должна осуществляться в двух направлениях:

1. формирование целостного представления о мире, об общности информационных процессов управления в природе, обществе и технике – мировоззренческий аспект,
2. ознакомление с методами и средствами получения, обработки, передачи, хранения и использования информации – прикладной аспект.

Успешное становление информационной компетентности обучающегося возможно если:

– в качестве инструмента формирования информационной компетентности используется специально разработанный учебный курс, имеющий базовый (инвариантный) и профессионально-ориентированный (вариативный) блоки;

– учебный курс интегрирован в образовательный процесс и реализуется с учетом специфики образовательного учреждения.

Анализ наблюдений показывает, что если учащийся умеет ориентироваться в системе информации, умеет актуализировать необходимую информацию, то он быстрее и глубже понимает, что его возможности в исследовании изучаемых процессов во многом зависят от этого умения, что они необходимы ему как способ получения необходимой ему информации. На этой основе он осознает значимость названных умений и для ориентации в информационной среде будущей профессиональной деятельности.

В рамках государственных стандартов СПО курс «Информатика» входит в раздел «Общие математические и естественнонаучные дисциплины» и является обязательным. Его основные задачи — формирование системно-информационной картины мира, развитие теоретического мышления и научного взглядов студентов.

Практическая составляющая курса сосредоточена на освоении компьютерной грамотности, особенно через лабораторные занятия, где студенты учатся работе с программным обеспечением и оборудованием.

У таких дисциплин как «Информатика» и «Информационные технологии в профессиональной деятельности» имеется ряд особенностей:

– информационные технологии выступают и как предмет изучения, и как средство активизации познавательной деятельности на занятиях;

– эти дисциплины содействуют углублению междисциплинарных связей за счет интеграции информационной и предметной подготовки;

– в аудитории, где проходят занятия, имеются автоматизированное рабочее место преподавателя (ПК, мультимедиапроектор, принтер, доступ к ресурсам сети Интернет) и автоматизированные рабочие места студентов (ПК, доступ к ресурсам сети Интернет);

– занятия проходят в «гиперактивном» режиме (очень высок объем самостоятельной работы студентов, в конце практических и некоторых теоретических занятий студент должен представить свой продукт нового качества);

– высокая мотивация студентов, уверенных в значимости знаний, полученных на занятиях по информатике и информационным технологиям, в своей будущей профессии.

Рассмотрим несколько примеров практических заданий на уроках.

Практическое задание для обучающихся специальности

«Эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)»

1. Обучающимся необходимо оформить в текстовом редакторе таблицу и произвести расчеты показаний и опалы электроэнергии

2. В электронной таблице произвести Построить график зависимости теплоемкости компоненты от температуры. Значения теплоемкостей и соответствующие температуры приведены в таблице.

3. О графическом редакторе составить схему электрической цепи.

Систематическое использование подобных заданий при решении учебных задач способствует закреплению знаний и умений обучающихся. Позволяет формировать у них такие профессиональные качества, как умение оперативного сбора, обработки, хранения и передачи информации, перенос технологий из одной предметной области в другую, способность к сотрудничеству и взаимодействию с другими людьми, умение работать в составе группы и, самое главное умение учиться, заниматься самообразованием, использовать компьютерные технологии для приобретения все новых и новых знаний.

Таким образом, содержание каждого структурного компонента информационной компетентности составляют определенные профессионально важные качества и психические свойства личности специалиста, которые в своей совокупности достаточно полно

характеризуют его подготовленность как к решению учебных задач, так и успешному выполнению своих функциональных обязанностей в информационной среде профессиональной деятельности.

Вместе с тем, успешность достижения заданной цели профессиональной подготовки специалиста обусловлена целым рядом факторов как объективного, так и субъективною характера, которые необходимо учитывать при реализации организационно-педагогической модели формирования профессиональной информационной компетентности специалистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краевский, В. В., Хуторской, А. В. Основы обучения. Дидактика и методика / В. В. Краевский, А. В. Хуторской. — М.: Издательский центр «Академия», 2007.
2. Подласый, И. П. Педагогика: учебник / И. П. Подласый. — М.: Высшее образование, 2012.
3. Татур, Ю. Г. Компетентностный подход в описании результатов и проектировании стандартов высшего профессионального образования: материалы ко второму заседанию методологического семинара / Ю. Г. Татур. — М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2014.

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ СТАНДАРТЫ ОБУЧЕНИЯ В СПО: АДАПТАЦИЯ К ЦИФРОВОЙ РЕАЛЬНОСТИ И ЗАПРОСАМ РЫНКА ТРУДА

Медведева О.Е., преподаватель, **Лазькова Г.М.,** преподаватель
Областное государственное автономное профессиональное образовательное учреждение «Старооскольский индустриально-технологический техникум», Россия, г. Старый Оскол 309513, микрорайон Студенческий, 5а,

Современное образование в системе среднего профессионального образования (СПО) неотделимо от меняющихся условий рынка труда и стремительного внедрения цифровых технологий. В этих условиях особую актуальность приобретают практико-ориентированные стандарты обучения, которые помогают выпускникам не только получить теоретические знания, но и сформировать востребованные навыки, необходимые для успешной карьеры в цифровой экономике.

Подготовка квалифицированного специалиста новой формации, соответствующего современному уровню развития выбранной отрасли – это задача, которая поставлена перед учебными организациями. Какими компетентностями должен обладать будущий специалист для гарантированного трудоустройства и быстрой адаптации на рабочем месте? Здесь можно отметить тот факт, что предприятия редко сотрудничают с учебным заведением при планировании и разработке учебно-методической документации, где должны быть отражены все нюансы эффективного обучения специалиста. Остаются актуальными вопросы: как добиться 100% трудоустройства выпускников колледжа по специальности; какая модель обучения эффективная; как поднять престиж учебного заведения на рынке образовательных услуг; как подготовить востребованного специалиста новой формации в наших условиях? Традиционный образовательный процесс дает студентам учебные знания, но привязка этих знаний к конкретной профессиональной деятельности происходит эпизодически. При подготовке специалистов разных отраслей среди важнейших проблем подготовки студентов можно выделить: сложность организации практического обучения, максимально приближенного к реалиям; ограниченный доступ к сложным техническим средствам и технологиям или информации; невозможность решать ситуационные задачи в реальных условиях или проводить эксперименты в натурных условиях.

Вызовы цифровой эпохи для СПО

Цифровизация и автоматизация всех сфер жизни привели к трансформации требований к квалификациям специалистов. Работодатели ожидают от молодых специалистов:

- умения работать с современными цифровыми инструментами и программным обеспечением;
- навыков аналитики больших данных и креативного решения нестандартных задач;
- гибкости и способности быстро обучаться новым технологиям в условиях постоянных изменений.

В то же время традиционные стандарты обучения часто сосредоточены на теоретическом материале и устаревших методах преподавания, что снижает конкурентоспособность выпускников СПО на рынке труда.

Практико-ориентированные стандарты: что это?

Практико-ориентированные стандарты — это образовательные нормы и требования, ориентированные на формирование конкретных профессиональных компетенций через активную практическую деятельность. В рамках СПО это означает:

- внедрение реальных рабочих кейсов и проектов в учебный процесс;
- использование цифровых симуляторов и тренажёров;
- организация производственных практик и стажировок с реальными работодателями;
- развитие soft skills наряду с техническими знаниями.

Студенты со второго семестра первого курса уже выполняют проекты в подгруппах. Им выдаются определенные средства для самостоятельной закупки материалов, эти траты нужно рассчитать, обосновать. Они самостоятельно могут усложнить задание и найти пути его решения, при этом используются компьютерные программы (например, по черчению – CAD), программирование, так как работа требует выполнения операций на станках с программным управлением. Студенты получают консультации по физике, математике, химии по мере необходимости. У них высокая мотивация к обучению, так как они нуждаются в эффективном освоении теории для решения общей практической задачи. Они сами оформляют всю документацию по проекту, включая чертежи, расчеты, отчет о результатах работы и его представление(презентацию). Важно осмысленное действие, которое ведет к качественному результату в силу ведения качественного процесса деятельности

Примером применения практико-ориентированных стандартов обучения в СПО: в нашем учебном заведении является реализация Проекта «Профессионалитет». В рамках проекта сформирован образовательно-производственные кластеры для интеграции техникума и организаций реального сектора экономики. при участии опорного работодателя которым в нашем учебном заведении является Стойленский ГОК создаются учебно-производственные комплексы, разрабатываются новое содержание и структура образовательных программ. Около 70% занятий в этой структуре отводится на практику на реальных производствах.

В тесном сотрудничестве техникум и якорной предприятие «СГОК» предприятие принимает студентов на ознакомительные экскурсии и выездные практические занятия. В подразделениях завода на втором курсе студенты проходят учебную практику в различных цехах. На третьем и четвертом курсах проходят всю производственную практику в цехах – заказчиках.

Организацию практико-ориентированного обучения мы решили строить на принципах дуальности. То есть такой форме организации образовательного процесса, когда до 70 % учебного времени уделяется практике и только 30 % – теоретической подготовке. При этом производственная практика, начиная с 3 курса, на 100 % реализуется в условиях действующего производства, на реальном рабочем месте по профессиям, которые должен освоить практикант. Таким образом до конца обучения, почти 1,5 года студент адаптируется, обучается умениям по профессии, получает первый необходимый опыт. При этом полностью учитываются и реализуются требования работодателя к будущему работнику.

Применение деятельностного подхода позволяет рассмотреть процесс организации практик и формирования компетенций по рабочим профессиям, который осуществляется поэтапно в результате практической и профессиональной деятельности на производстве. Данный подход способствует организации и управлению целенаправленной практической деятельностью студентов в соответствии с их будущей профессиональной деятельностью.

В процессе освоения профессии мы выделили следующие этапы:

1. Адаптация студента к новой для него производственной среде, социальному окружению и к будущей специальности. На этом этапе происходит принятие новой образовательной среды, у практиканта формируются новые способы поведения, направленные на гармонизацию отношений с окружающими, происходит смена мотивов практической деятельности в процессе формирования умений и навыков по осваиваемой профессии.

2. Получение знаний. В процессе освоения профессии происходит осознание и понимание теоретического материала, изученного на спецпредметах.

Наставник осуществляет консультационную деятельность, помогая восполнить или дополнить недостающие пробелы, необходимые для понимания как выполнять ту или иную производственную операцию.

3. Наставник, опираясь на мотивы студентов, помогает им освоить трудовые операции, научиться решать производственно-технические задачи. Сопровождает их на всем пути формирования навыков, сопоставляет познавательные и профессиональные мотивы обучающихся.

4. По окончании периода обучения рабочей профессии осуществляется оценка практиканта через выполнение квалификационной работы и сдачи экзамена на разряд в квалификационной комиссии. На данном этапе создается положительная установка на дальнейшее повышение квалификации, формируется мотивация перспективы через осознание готовности к самостоятельной профессиональной деятельности

Преимущества для студентов и рынка труда

- Выпускники СПО обладают не только знаниями, но и реальным опытом решения профессиональных задач.
- Быстрая адаптация к цифровым условиям труда и изменениям технологий.
- Повышение конкурентоспособности и востребованности на рынке труда.
- Умение работать в командах и развивать коммуникативные навыки.

Практико-ориентированные стандарты в СПО — это не просто тренд, а необходимость. Адаптация к цифровой реальности и запросам рынка труда требует комплексного подхода: от обновления программ до модернизации инфраструктуры. Успех будет зависеть от способности колледжей и техникумов оперативно реагировать на изменения, выстраивать диалог с работодателями и внедрять инновационные технологии. Только так система СПО сможет готовить специалистов, которые будут конкурентоспособны в условиях быстро меняющегося мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Истомина В. В. «О практико-ориентированном обучении в среднем профессиональном образовании» // Инновационное развитие профессионального образования. — 2019. — №1 (21).

2. Иванов М. А., Павлова А. В. «Метод кейсов как средство формирования профессиональных компетенций студентов организации среднего профессионального образования (на примере автодорожного техникума)» // Проблемы современного педагогического образования. — 2020. — №69-3.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГРУППЫ РОЛЬГАНГОВ УЧАСТКА 1-ОЙ ЛИНИИ ПИЛ ГОРЯЧЕЙ РЕЗКИ СПЦ-1 АО «ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА»

Медведев В.С., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Петров В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Сейчас прокатное производство в большинстве случаев является завершающим звеном производственного цикла на металлургическом предприятии. Прокат составляет основную часть металлургической продукции. Более 90 % выплавляемой стали проходит через прокатные цеха. На заводах цветной металлургии широко применяется прессование, но процесс прокатки все же занимает основное место.

Оборудование стана, служащее для деформации металла между вращающимися валками, называют основным, а для выполнения прочих операций вспомогательным.

Тема данной работы актуальна так как затрагивает важные вопросы для современного прокатного производства – качество работы электрооборудования прокатного стана и, в частности, его вспомогательного элемента – рольганга. Рольганги являются транспортным средством прокатных цехов и используются для продольного и некоторого поперечного перемещения металла.

Группа рольгангов 1-ой линии пил горячей резки непрерывного прокатного стана предназначены для транспортировки заготовок к пилам и упорам, а также позиционировании заготовок при порезке их на любую длину. Рольганги транспортируют прокатный металл большой длины, поэтому они имеют индивидуальный привод роликов.

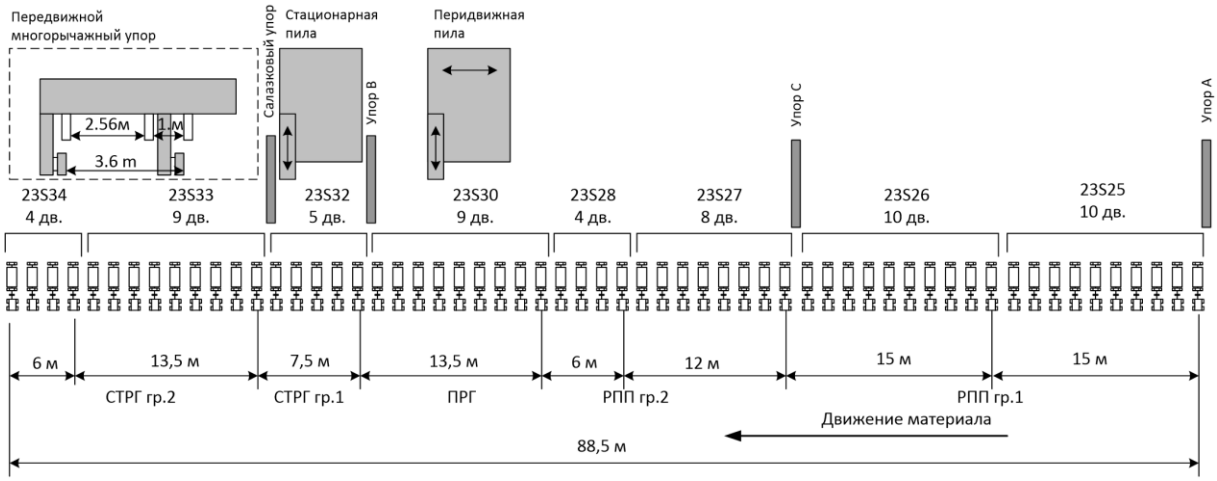


Рис. 1 – Общий вид рольгангов

В данный момент система управления рольгангами построена по релейно-контакторной схеме. Торможение при позиционировании осуществляется с применением динамического торможения и компенсацией демпферами на рычагах многорычажного упора. Из-за длительного срока службы блоки динамического торможения и демпферы рычагов выходят из строя, что приводит к неправильному позиционированию заготовок и впоследствии к браку продукции. Предлагается произвести замену существующей систему на систему с частотным регулированием скорости. Данная замена позволит улучшить торможение перед упорами, снизятся затраты на ремонт пускорегулирующей аппаратуры, сократится износ роликов рольганга.

Произведя расчеты моментов двигателя, выбрали специальный асинхронный рольганговый двигатель с короткозамкнутым ротором АР63-10 мощность 2,5 кВт, синхронной

скоростью вращения 600 об/мин. Рассчитав параметры схемы замещения, построили модель прямого пуска двигателя для проверки правильности выбора электродвигателя.

Для управления группой рольгангов следует применить скалярное управление. Скалярное управление часто используется для частотно-регулируемых асинхронных электроприводов роликов рольганга. Оно применимо в случаях, когда стандартные требования к диапазону регулирования скорости и динамическим характеристикам не предполагают необходимости высокой точности. В групповом приводе обычно используется скалярное управление (например, метод U/f), которое проще в реализации и не требует точных параметров отдельных двигателей. В качестве ПЧ был принят Sinamics G120 фирмы Siemens.

В среде Matlab/Simulink была построена модель скалярного управления электроприводом рольганга (рисунок 2). Схема включает в себя следующие основные блоки: Speed controller (контроллер скорости), SVM generator (генератор векторной ШИМ), сглаживающий конденсатор, Three-phase Inverter (трёхфазный инвертор), Three-phase diode rectiffier (трёхфазный выпрямитель), Induction machine (асинхронный двигатель).

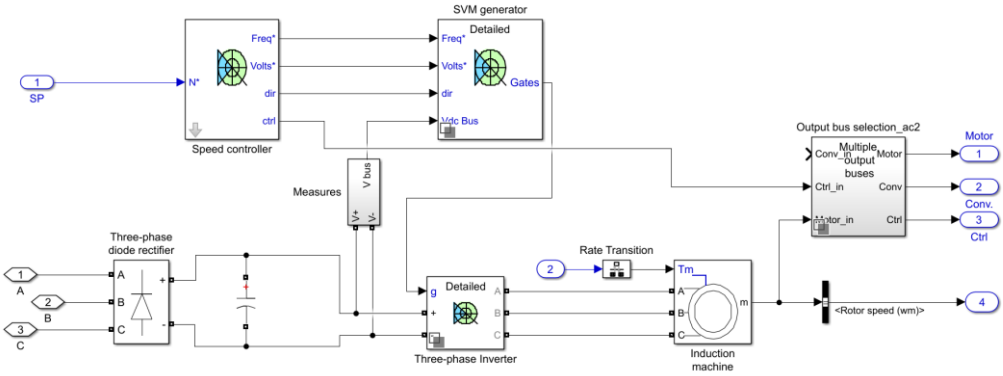


Рис. 2 – Структурная схема системы скалярного управления

Были получены результаты моделирования (рисунок 3) скорости, тока статора, электромагнитного момента двигателя. Моделируемый цикл включает в себя запуск двигателя, достижение требуемой скорости, поступление заготовки на ролик рольганга, и торможение за заданное время.

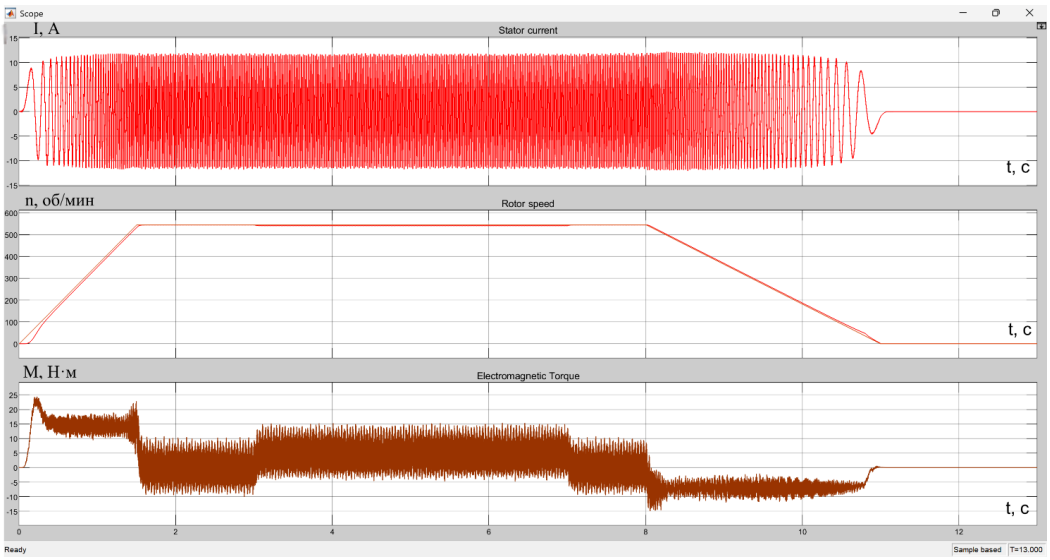


Рис. 3 – Результаты моделирования скалярного управления

Во все переходные моменты ток не превышает допустимого, соответствуя номинальному току. Скорость плавно возрастает и плавно убывает во время переходных моментов, без колебаний и перерегулирования при изменении нагрузки. Момент в переходные периоды возрастает и убывает, не превышая динамический момент, также отсутствуют колебания и перерегулирование. Можно сделать вывод, что данная система скалярного управления удовлетворяет требуемым условиям работы рольганга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. Учеб. Пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Высш. школа», 1977. – 391 с.
2. Онищенко, Г. Б. Теория электропривода : учебник / Г.Б. Онищенко. — Москва : ИНФРА-М, 2026. — 294 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — DOI 10.12737/7322. - ISBN 978-5-16-009674-2. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2237732 (дата обращения: 06.04.2026). – Режим доступа: по подписке.
3. Семёнов Александр Сергеевич Моделирование режимов работы асинхронного двигателя в пакете программ Matlab // Вестник СВФУ. 2014. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-rezhimov-raboty-asinhronnogo-dvigatelya-v-paketeprogramm-matlav // (дата обращения: 26.01.2026).
4. SINAMICS G110, SINAMICS G120 Стандартные преобразователи. [Электронный ресурс]: режим доступа: URL: https://www.is-com.ru/files/D11-1_2009_RUS.pdf // (дата обращения: 14.03.2026).

РАЗРАБОТКА ПЕРСОНАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ОТРАБОТКИ НАВЫКОВ В ВИДЕ ЧАТ-БОТА

Михальков А.Ю., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., ст. преподаватель **Жуков П.И.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В современных условиях цифровизации образования и стремительного развития информационных технологий особую актуальность приобретает задача повышения эффективности обучения в области программирования. Современные образовательные платформы должны обеспечивать не только доступ к учебным материалам, но и возможность интерактивного взаимодействия, анализа результатов и адаптации процесса обучения под индивидуальные особенности пользователя.

Одним из перспективных направлений является использование чат-ботов, способных имитировать диалог с преподавателем, предлагать задания, анализировать ответы и формировать рекомендации. Такие системы позволяют организовать процесс обучения в удобной форме и обеспечить постоянную обратную связь.

В настоящее время процесс самостоятельного обучения программированию часто осуществляется с использованием разрозненных ресурсов: онлайн-курсов, задачников, видеоматериалов и форумов. При этом отсутствует единая система, способная отслеживать прогресс пользователя, анализировать его ошибки и формировать индивидуальную траекторию обучения. Это приводит к снижению эффективности обучения, потере мотивации и увеличению времени освоения материала.

Ключевыми участниками процесса являются:

- пользователь (обучающийся — решает задачи, получает обратную связь);
- чат-бот (генерирует задания, проверяет решения, анализирует результаты);
- система хранения данных (сохраняет историю решений и прогресс пользователя).

Анализ существующей организации процесса выявил следующие недостатки:

- отсутствие персонализации обучения;
- ограниченные возможности автоматической проверки решений;
- отсутствие анализа ошибок и рекомендаций;
- невозможность построения индивидуального плана обучения;
- разрозненность учебных материалов.

Разработка персонального тренажёра в виде чат-бота направлена на повышение эффективности обучения за счёт автоматизации процесса подбора заданий, анализа результатов и формирования индивидуального roadmap развития пользователя. На рис. 1 представлена контекстная диаграмма процесса функционирования системы.

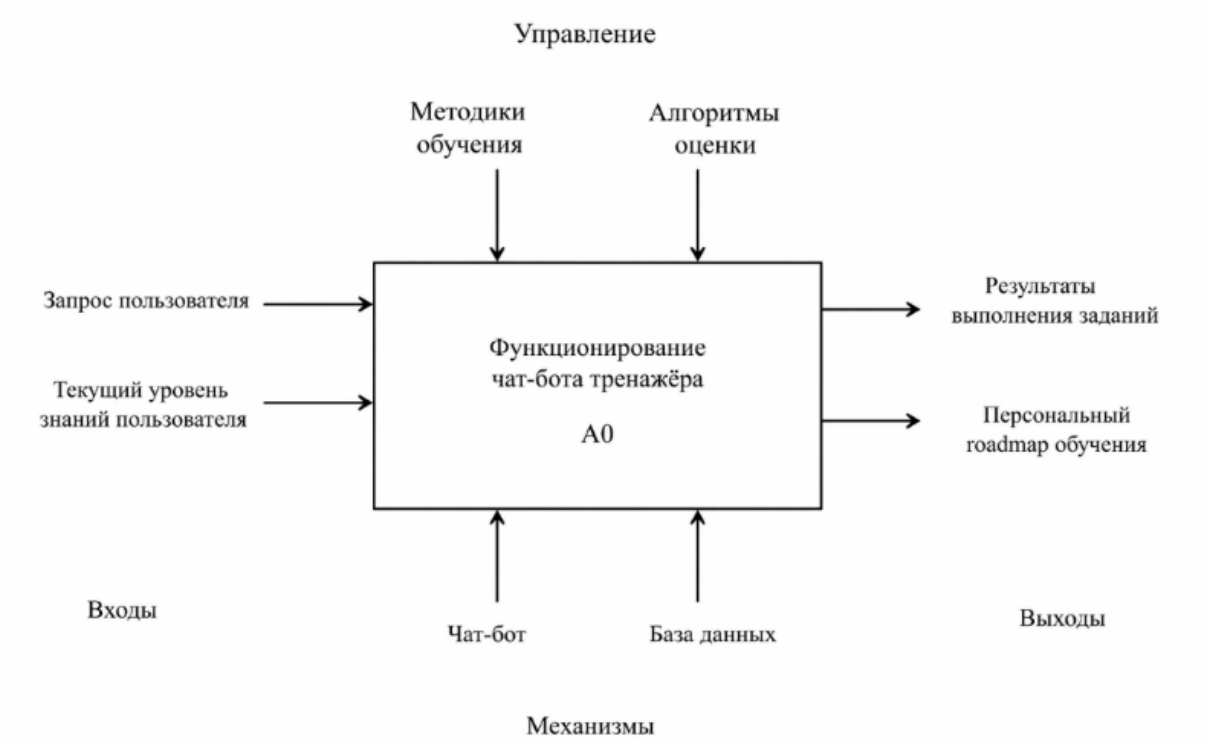


Рис. 1 – IDEF0-модель процесса функционирования чат-бота тренажера

Входными данными процесса являются запрос пользователя и текущий уровень его знаний в области программирования. Управляющими факторами выступают методики обучения, а также алгоритмы оценки решений, позволяющие определить корректность выполнения заданий и уровень подготовки пользователя. В качестве механизмов используются чат-бот, обеспечивающий взаимодействие с пользователем, и база данных, предназначенная для хранения информации о заданиях, результатах и прогрессе обучения. Выходными результатами являются результаты выполнения заданий, а также сформированный персональный roadmap обучения.

В результате декомпозиции основного процесса были выделены следующие ключевые функциональные блоки:

- генерация заданий по программированию;
- проверка решений пользователя;
- анализ результатов выполнения;
- формирование рекомендаций и roadmap обучения.

Следующим этапом проектирования стало построение диаграммы классов UML, представленной на рис. 2. Она определяет набор сущностей, их атрибуты и отношения между ними, что в совокупности составляет информационную модель разрабатываемой системы.

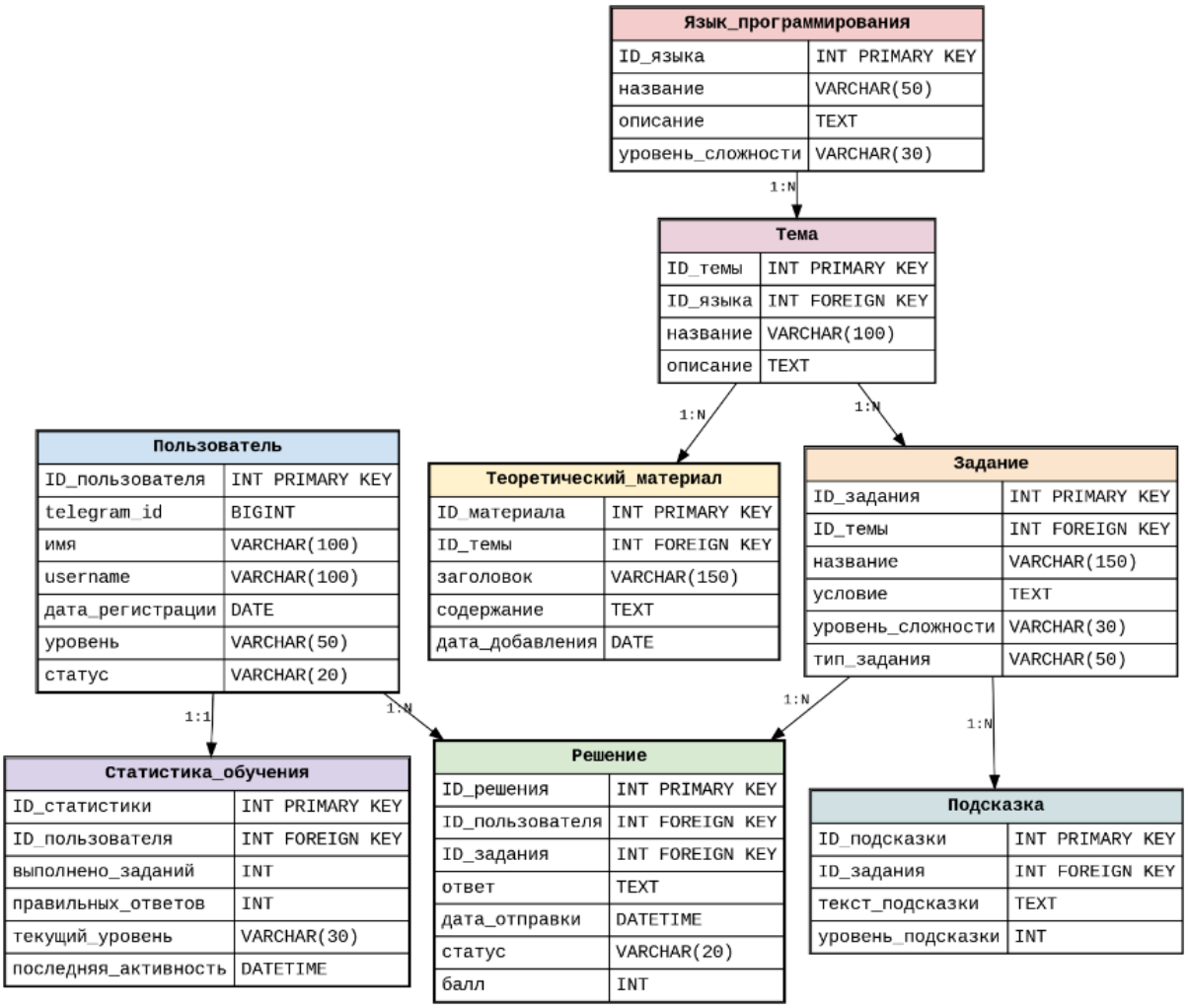


Рис. 2 – Диаграмма классов системы

Ключевыми сущностями системы являются: Пользователь, Язык программирования, Тема, Теоретический материал, Задание, Решение, Подсказка и Статистика обучения. Каждый блок выполняет конкретную функцию в системе обработки заявления, установления дат занятий и оценки посещаемости.

Разрабатываемая информационная система реализована в виде чат-бота, функционирующего по клиент-серверной архитектуре. В качестве клиентской части выступает пользовательский интерфейс мессенджера (например, Telegram), обеспечивающий взаимодействие пользователя с системой. Серверная часть отвечает за обработку запросов, генерацию заданий, проверку решений и анализ результатов.

В качестве основных технологий разработки могут быть использованы:

- язык программирования: Python;
- серверная часть: FastAPI;
- база данных: SQLite;
- API взаимодействия: Telegram Bot API.

Разрабатываемая информационная система спроектирована в виде приложения, реализующего основные сценарии взаимодействия пользователя с персональным тренажёром. В рамках исследования был разработан визуальный прототип интерфейса, позволяющий продемонстрировать логику функционирования системы, включая выбор параметров обучения, получение заданий, проверку решений и анализ статистики.

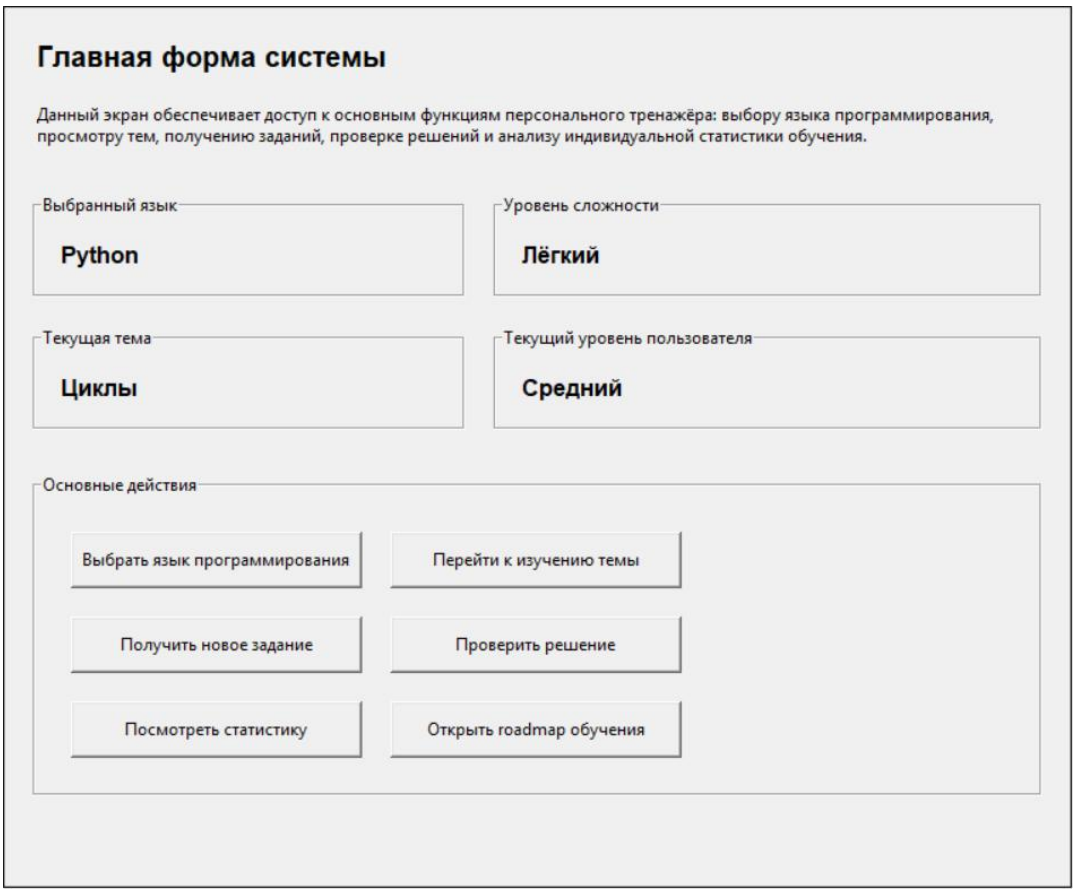


Рис. 3 – Главная форма персонального тренажера

Главная форма (рис. 3) обеспечивает доступ к основным функциям разрабатываемой системы. С её помощью пользователь может выбрать язык программирования, перейти к изучению тем, получить задание, выполнить проверку решения, а также просмотреть статистику обучения и сформированный персональный roadmap. Данная форма реализует централизованное управление функциональными возможностями системы и служит точкой входа для взаимодействия пользователя с персональным тренажёром.

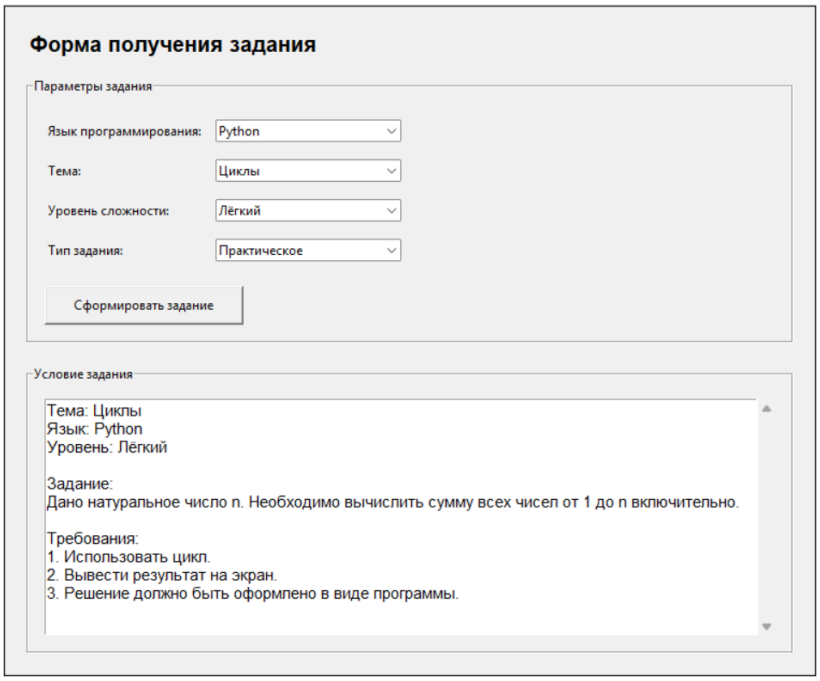


Рис. 4 – Форма получения задания

Форма получения задания (рис. 4) предназначена для выбора параметров обучающего процесса, включая язык программирования, тему, уровень сложности и тип задания. После задания необходимых параметров система формирует соответствующее задание и отображает его условие.

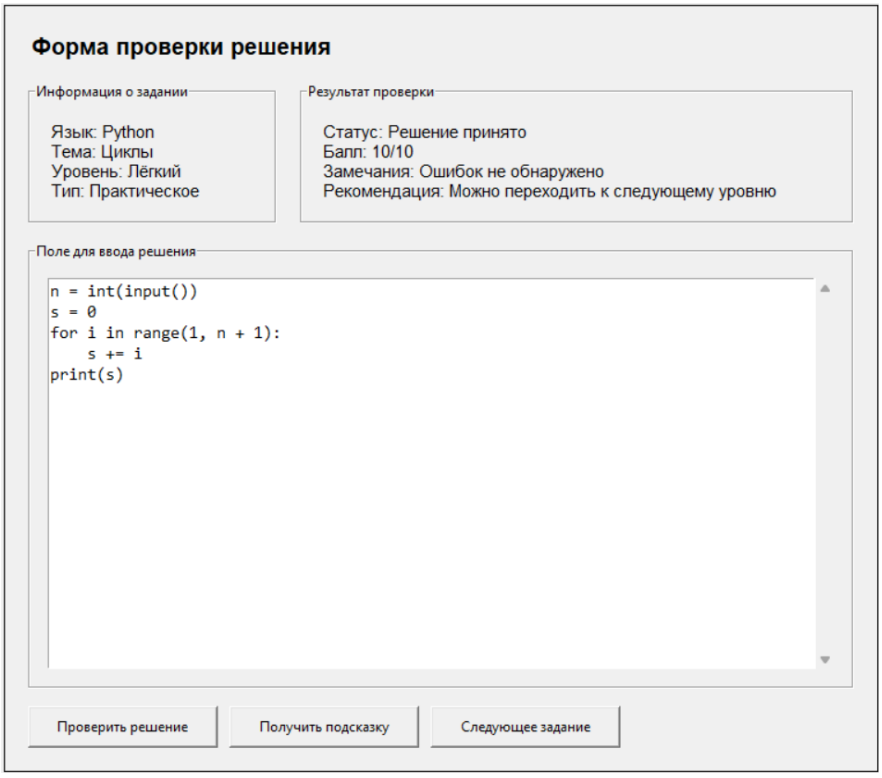


Рис. 5 – Форма проверки решения

Форма проверки решения (рис. 5) предназначена для ввода ответа пользователя и отображения результатов его анализа. На данной форме представлена информация о задании, поле для ввода решения, а также результаты проверки, включающие статус выполнения, количество набранных баллов и рекомендации. Данная форма обеспечивает обратную связь с пользователем и позволяет оценить уровень усвоения материала.

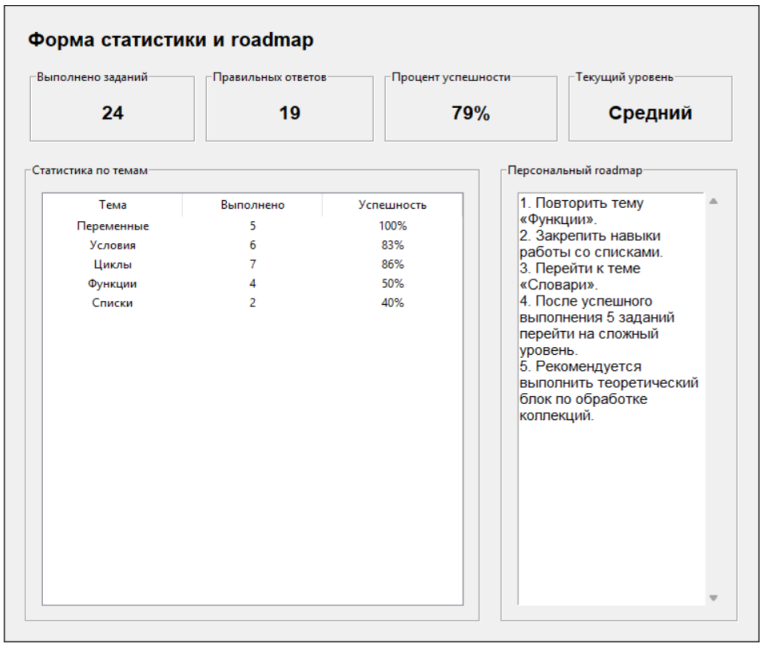


Рис. 6 – Форма статистики и формирования roadmap

Форма статистики и формирования roadmap (рис. 6) предназначена для анализа прогресса пользователя в процессе обучения. На данной форме отображаются основные показатели, включая количество выполненных заданий, процент успешности, текущий уровень подготовки, а также результаты по отдельным темам.

В результате разработки персонального тренажёра в виде чат-бота были определены основные компоненты системы, спроектирована её архитектура и реализован прототип пользовательского интерфейса, отражающий ключевые сценарии взаимодействия с пользователем.

Разработанная система обеспечивает следующие функциональные возможности:

- выбор языка программирования, темы и уровня сложности обучения;
- генерацию заданий в соответствии с заданными параметрами;
- ввод и проверку решений пользователя;
- анализ результатов выполнения заданий;
- накопление и отображение статистики обучения;
- формирование персонального roadmap развития.

Предложенное решение позволяет автоматизировать процесс обучения программированию, обеспечить персонализированный подход к пользователю и повысить эффективность освоения учебного материала.

Разработанный прототип интерфейса демонстрирует работоспособность предложенной модели и может служить основой для дальнейшей реализации полнофункциональной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буч Г., Рамбо Дж., Джекобсон А. Язык UML. Руководство пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 496 с.
2. Леоненков А.В. Самоучитель UML. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 304 с.
3. Фланаган Д. Python. Подробное руководство. – СПб.: Питер, 2022
4. Советов Б. Я., Цехановский В. В. Базы данных: теория и практика. – М.: Юрайт, 2023.
5. Троелсен Э., Джепикс Ф. Язык программирования C# и платформы .NET и .NET Core. – М.: Вильямс, 2020.
6. Лутц М. Изучаем Python. – СПб.: Питер, 2021.
7. Дата К. Дж. Введение в системы баз данных. – М.: Вильямс, 2019.

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Миронец А.Д., студент 1 курса магистратуры
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Основина О.Н.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Ключевым фактором, ограничивающим эффективность предиктивного обслуживания (PdM), является разомкнутость информационного цикла: прогнозные модели выдают оценку остаточного ресурса (Remaining Useful Life, RUL), однако результаты реального обслуживания редко возвращаются в контур обучения. В результате модели не учитывают систематические ошибки, накопление которых снижает достоверность диагностики.

Вторым значимым ограничением, характерным для большинства промышленных предприятий, выступает дефицит исторических данных об отказах. В отличие от задач машинного обучения на размеченных наборах данных, в реальном оборудовании отказы происходят относительно редко, а их регистрация часто выполняется неформализованно.

Цель данной статьи – предложить инженерную методику организации базы знаний PdM-системы, которая позволяет:

– накапливать и унифицированно хранить данные мониторинга и ремонтов;

– выполнять верификацию прогнозов RUL по факту обслуживания;

– осуществлять непрерывное обучение прогнозных моделей даже при малом количестве отказов.

Под базой знаний в контексте предиктивного обслуживания понимается не просто хранилище данных, а совокупность взаимосвязанных информационных сущностей: показатели мониторинга, события (предупреждения, тревоги), фактические ремонтные воздействия и верифицированные сценарии деградации.

На рисунке 1 представлена архитектура предлагаемой системы мониторинга.

Рис. 1 – Архитектура системы мониторинга и диагностики оборудования

Формализация данных о ремонтном воздействии. Для замыкания обратной связи каждое ремонтное воздействие должно быть описано минимальным, но достаточным набором полей:

- идентификатор оборудования (цех, линия, агрегат);
- дата и время начала/окончания ремонта, наработка на момент остановки;
- тип обслуживания: плановое, аварийное, предиктивное (по предупреждению);
- выявленный дефект (например: «разрушение внутреннего кольца подшипника»);
- метод подтверждения (разборка, эндоскопия, анализ масла);
- прогнозный RUL, выданный перед остановкой (если формировался);
- фактический остаточный ресурс – разница между прогнозируемым и фактическим моментом отказа (если отказ произошёл).

На основе этих данных вводится ошибка прогноза:

$$\varepsilon = \frac{|RUL_{прогноз} - RUL_{факт}|}{RUL_{факт} + \delta} \times$$

где – малая константа, предотвращающая деление на ноль. Накопление таких ошибок позволяет выявлять систематическое смещение прогнозных моделей.

Алгоритм верификации и обучения. Предлагается следующий итерационный алгоритм, выполняемый после каждого ремонтного события с обратной связью:

1. Извлечение исторических прогнозов для данного актива за предшествующий интервал.
2. Сопоставление прогноза с фактом, а именно, вычисление и определение, было ли предупреждение выдано своевременно.
3. Классификация исхода:

– *True Positive* – прогноз указал на дефект, дефект подтверждён;

– *False Positive* – прогноз указал на дефект, оборудование исправно;

– *False Negative* – отказ произошёл без предупреждения.

4. Корректировка пороговых значений диагностических признаков на основе накопленной статистики.
5. Дообучение модели RUL (например, градиентный бустинг или LSTM) с добавлением нового размеченного примера.

При малом количестве отказов (менее 10–15) предлагается использовать байесовские методы обновления параметров модели, а не полное переобучение.

Практические рекомендации по внедрению. На основе опыта внедрения PdM-систем на горно-металлургических предприятиях могут быть сформулированы следующие рекомендации:

- начинать формирование базы знаний следует с пилотного проекта на ограниченной номенклатуре оборудования (например, 10–20 критических подшипниковых узлов);
- обязателен параллельный учёт плановых и аварийных ремонтов – именно они дают фактические значения RUL;
- для автоматизации сбора обратной связи необходимо интегрировать PdM-модуль с существующей ИСУП (EAM/CMMS), используя единые справочники оборудования;
- на начальном этапе, когда данных мало, прогнозные модели целесообразно строить на основе пороговых значений и трендов, а не сложных нейросетей.

В данной статье предложена методика организации базы знаний для замкнутой системы предиктивного обслуживания технических систем. Ключевым результатом работы является разработка структур данных и алгоритмов, позволяющих реализовать полный информационный цикл «прогноз – действие – верификация» без привязки к конкретному типу оборудования или отрасли.

Практическая значимость работы обусловлена тем, что предложенный подход не требует накопления большого объёма исторических данных об отказах на начальном этапе и

может быть реализован с минимальными изменениями существующей инфраструктуры технического обслуживания.

Реализация описанной методики позволяет перейти от разовых прогнозных оценок к непрерывно обучающейся системе, точность которой повышается по мере накопления верифицированных примеров ремонтных воздействий. Это создаёт основу для построения эффективных систем проактивного управления надёжностью промышленного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jardine A. K. S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2006. – Vol. 20, No. 7. – P. 1483–1510.
2. Lee J., Bagheri B., Kao H. A. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems // Manufacturing Letters. – 2015. – No. 3. – P. 18–23.
3. Семёнов С.С., Кузнецов К.А. Интеллектуальные системы мониторинга и диагностики промышленного оборудования // Датчики и системы. – 2020. – № 5. – С. 45–52.
4. Сидоров В.Н., Петрова Е.А. Методы верификации прогнозных моделей остаточного ресурса технических систем на основе ретроспективных данных // Надежность и диагностика систем энергетики. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 34–41.
5. Zhao Z., Quan H., Wang J. A knowledge-based feedback-driven approach for predictive maintenance in manufacturing systems // Journal of Intelligent Manufacturing. – 2021. – Vol. 32, No. 5. – P. 1407–1422.

ПОЧЕМУ УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ РАСТЁТ С ПОВЫШЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ?

Морозов М.Р., студент 1 курса
Научный руководитель - к.п.н., доцент **Мякотина М.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Вопрос повышения удельного сопротивления в металлах с ростом температуры неразрывно связан с самой природой данного материала. Металл в обычных условиях – это хороший проводник для электрического тока, что объясняется наличием в нём большого числа свободных электронов. Под воздействие электрического поля эти электроны начинают упорядоченно двигаться и нередко соударяться с ионами, находящихся в узлах металлической кристаллической решётки. Каждое такое столкновение замедляет поток электронов, что в свою очередь вызывает электрическое сопротивление. Чем выше температура, тем быстрее движение заряженных частиц, и тем больше сопротивление данного металла. Строение проводника и движение электронов в нём представлены на рисунке 1.

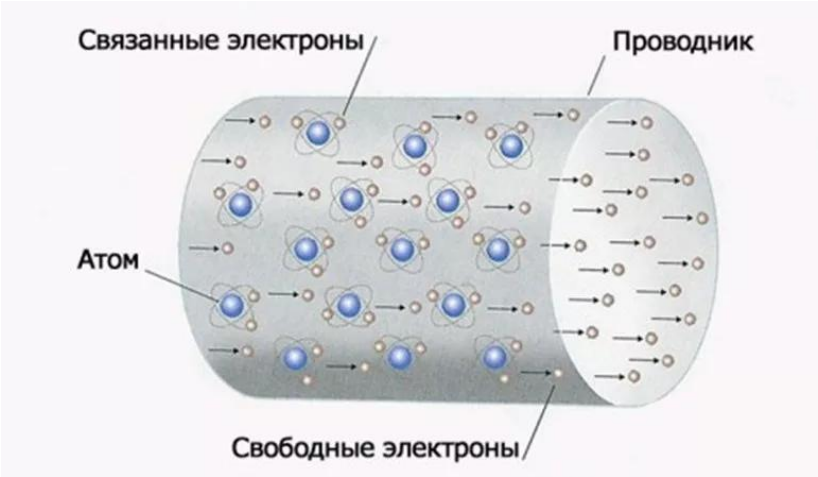


Рис. 1 – Строение проводника и движение электронов в нём

При нагреве проводника происходят следующие явления:

– рост амплитуды колебаний ионов – при повышении температуры атомы (ионы) в кристаллической решётке получают больше тепловой энергии, вследствие чего они начинают колебаться с бóльшей амплитудой;

– увеличение числа столкновений – из-за увеличенной амплитуды колебаний ионы «захватывают» больший объём пространства, что сужает возможность свободным электронам двигаться без столкновений;

– потеря направленности движения – после каждого столкновения электрон меняет направление своего движения и, чем чаще происходят эти столкновения, тем меньше средняя длина свободного пробега электрона и тем слабее выражено его направленное движение;

– рост сопротивления – с ростом температуры увеличивается мера противодействия материала прохождению по нему тока, что способствует увеличению удельного сопротивления [1].

Зависимость удельного сопротивления ρ от температуры T описывается следующей формулой:

$\rho(T)=\rho_0\cdot(1+\alpha\cdot\Delta T)$, где:

- $\rho(T)$ — удельное сопротивление при температуре T, Ом*мм^2/м;

- ρ_0 — удельное сопротивление при начальной температуре, Ом*мм^2/м;
- α — температурный коэффициент сопротивления (ТКС), К$^{-1}$;
- ΔT — изменение температуры, К.

Температурный коэффициент сопротивления α показывает на какую долю от начального значения изменяется удельное сопротивление при нагревании на 1 градус Кельвина. Для всех чистых металлов коэффициент больше 0, что означает, что их сопротивление растёт вместе с температурой. Однако, как и для любого правила, существуют свои исключения:

- сверхпроводимость – при температурах, равным 0, удельное сопротивление резко падает до нуля. В сверхпроводящем состоянии электроны образуют куперовские пары и движутся без рассеяния в решётке.

- специальные сплавы – некоторые сплавы имеют очень малый ТКС (температурный коэффициент сопротивления). Их удельное сопротивление почти не меняется с температурой, что делает их идеальными для эталонных резисторов и измерительных приборов [2].

Таблица 1 – Справочные данные характеристик проводников

Материал	Температурный коэффициент сопротивления α при 20°C, K⁻¹	Удельное сопротивление ρ при 20°C, мкОм·м	Диапазон рабочих температур, °C
Медь	0,00393	0,0172	-100 до +250
Алюминий	0,00403	0,0278	-60 до +150
Серебро	0,0038	0,0159	-100 до +400
Золото	0,0034	0,0244	-200 до +600
Никель	0,006	0,0684	-80 до +300
Железо	0,0065	0,0983	-40 до +750
Платина	0,003927	0,107	-200 до +1200
Вольфрам	0,0045	0,055	-200 до +1500

Удельное сопротивление металлов растёт линейно относительно повышения температуры. Данный факт справедлив для температурного диапазона от -50 °C до +200 °C. За пределами этого диапазона зависимость становится нелинейной, и для более точных расчётов используются более сложные формулы, учитывающие изменение самого ТКС (температурный коэффициент сопротивления) с температурой [3].

График зависимости удельного сопротивления металла от температуры представлен на рисунке 2.

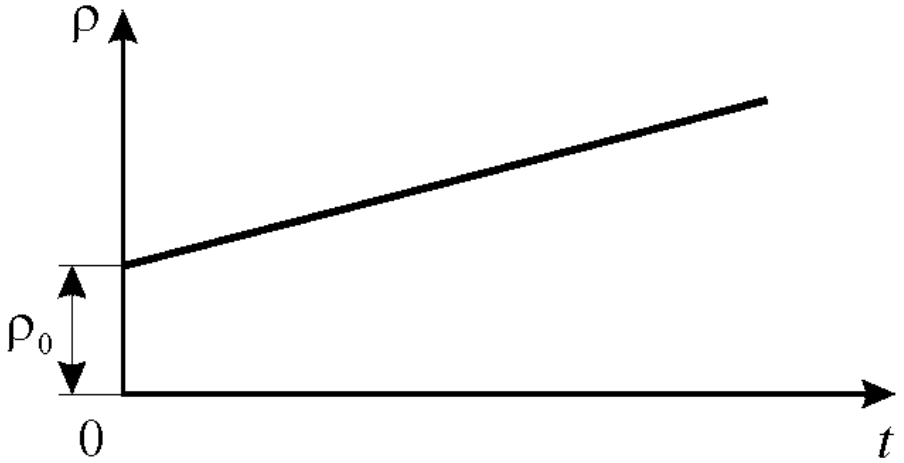


Рис. 2 – График зависимости удельного сопротивления металла от температуры

Зависимость сопротивления металлов от температуры можно продемонстрировать экспериментально. Например, можно собрать электрическую цепь из источника тока, проволочной спирали и амперметра, и пронаблюдать за показаниями измерительного прибора, параллельно нагревая спираль обычной спиртовкой. Показания амперметра начнут уменьшаться — это подтверждает тот факт, что при увеличении температуры сопротивление металлов увеличивается. При ослаблении температуры будет наблюдаться обратный процесс.

Практическое применение знания об увеличении удельного сопротивления металлов при повышении температуры представлено в следующем перечне:

– электропечи и другие нагревательные устройства. Нагревательные элементы изготавливают из жаропрочных материалов, обладающих большим удельным сопротивлением. В этом случае при относительно небольшом значении напряжения будет происходить достаточно сильный нагрев элемента.

– лампы накаливания. Принцип действия аналогичен с нагревательным элементом с той разницей, что нить накаливания изготавливают из материалов, излучающих свет при нагревании.

– реле, используемого в системах контроля тепла и пожарных сигнализациях. Принцип работы релейного терморезистора основан на свойствах полупроводников изменять своё сопротивление при изменении температуры.

– люминесцентные лампы и жидкостные аккумуляторные батареи, в работе которых применяется эффект изменения проводимости газов и жидкостей под влиянием различных температур.

– плавкие предохранители, где при увеличении напряжения растёт сопротивление и, как следствие, температура. Предохранитель плавится и тем самым размыкает цепь [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конспект по теме "Зависимость сопротивления от температуры" [Электронный ресурс] – https://infourok.ru/konspekt-po-teme-zavisimost-soprotivleniya-ot-temperatury-5778241.html

2. Удельное сопротивление металлов [Электронный ресурс] – https://obrazovaka.ru/fizika/udelnoe-soprotivlenie-metallov-tablica.html

3. Таблицы изменения сопротивления проводников от температуры [Электронный ресурс] – https://inner.su/articles/tablitsy-izmeneniya-soprotivleniya-provodnikov-ot-temperatury/

4. Зависимость сопротивления от температуры [Электронный ресурс] – https://wika.tutoronline.ru/fizika/class/10/zavisimost-soprotivleniya-ot-temperatury

РАЗРАБОТКА РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЁТА ПОСЕЩАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

Мохамед М.Ф., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., **Козырь О.Ф.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федеральногогосударственного автономного образовательного учреждения высшего образования«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ«МИСИС»)

В Старооскольском технологическом институте НИТУ «МИСИС» учёт посещаемости учебных занятий в настоящее время осуществляется преимущественно вручную с использованием бумажных журналов. Согласно локальному нормативному акту П 45.07-20, фиксация присутствия студентов ведётся преподавателями в журналах учёта учебных занятий, а также старостами групп в журналах учета посещаемости [1]. Данные хранятся децентрализованно, отсутствует единый источник информации. На каждом занятии преподаватель тратит от 5 до 10 минут на перекличку или сбор подписей. При этом в институте функционирует система контроля и управления доступом (СКУД), которая фиксирует проходы студентов через турникеты, а также корпоративная ERP-система 1С: Университет. Однако эти системы не интегрированы с процессом учёта посещаемости. Положение о пропускном режиме (П 27.06-24) предусматривает хранение данных о проходах в течение 30 суток, но не определяет порядок их использования в образовательных целях [2]. В отчёте о самообследовании за 2021 год отмечена общая численность студентов более 1800 человек и около 150 преподавателей, что подтверждает масштаб проблемы ручного учёта [3]. С целью решения данной проблемы разработана реляционная база данных, которая является ядром автоматизированной информационной системы учёта посещаемости. Архитектура системы построена по принципу «толстой» базы данных (Thick Database). Вся бизнес-логика – регистрация посещаемости (ручная, по QR-коду, автоматическая по данным СКУД), формирование отчётов, уведомления о пропусках, проверка полномочий – реализована на стороне СУБД в виде хранимых процедур и триггеров. Промежуточный слой api.php (PHP) выполняет исключительно функцию маршрутизации: принимает запросы от клиентов, вызывает соответствующие хранимые процедуры с переданными параметрами и возвращает результат. Никакая бизнес-логика на уровне приложения отсутствует. Такой подход обеспечивает централизованный контроль целостности данных, единообразие алгоритмов обработки, снижение нагрузки на сервер приложений и защиту от SQL-инъекций, поскольку все операции выполняются через параметризованные вызовы хранимых процедур [4, 5].

База данных развёрнута на изолированном сервере с выделенным IP-адресом. Единственным способом взаимодействия с ней является вызов скрипта api.php через зашифрованное HTTPS-соединение. Никакое клиентское приложение (веб-интерфейс, мобильное приложение) не имеет прямого доступа к портам СУБД – все запросы проходят через API-уровень, который выполняет аутентификацию и вызывает хранимые процедуры. Данная архитектура соответствует требованиям Политики информационной безопасности НИТУ «МИСИС» (П 268.03-19) в части разграничения доступа, криптографической защиты каналов связи и логирования действий [6].

Особенностью разработанной системы является обязательная проверка физического присутствия студента в здании перед сканированием QR-кода. Хранимая процедура ПроверитьQRИОтметить перед отметкой посещаемости запрашивает последнее событие входа студента из таблицы СКУД_Событие. Если студент не зафиксировал вход через турникет за последние 30 минут, сканирование QR-кода запрещается. Это исключает возможность передачи QR-кода третьим лицам и гарантирует, что студент действительно находится в учебном корпусе. Кроме того, при наличии считывателей СКУД-карт в аудиториях (данная инфраструктура может быть развёрнута по мере необходимости) процедура ПринятьСобытиеСКУД автоматически регистрирует посещаемость в момент прикладывания карты к считывателю. Время прохода сопоставляется с расписанием занятий,

и если оно попадает в интервал от 30 минут до начала до 30 минут после окончания занятия, проставляется статус «Присутствовал».

Инфологическая модель (ER-диаграмма) разработанной базы данных представлена на рисунке 1. В нотации Чена выделены следующие сущности: «Пользователь», «Студент», «Преподаватель», «Учебная_Группа», «Специальность», «Факультет», «Дисциплина», «Расписание», «Занятие», «Посещаемость», «Обоснования_Отсутствия», «QR_Сессия», «QR_Сканирование», «СКУД_Карта», «СКУД_Устройство», «СКУД_Событие», «Уведомления», «Лог_Действий», «Настройки_Системы». Связи между сущностями отражают логику учебного процесса, закреплённую в Положении о текущем контроле [1]: группа обучается по специальности, для группы формируется расписание, по расписанию создаются занятия, на занятиях фиксируется посещаемость студентов.

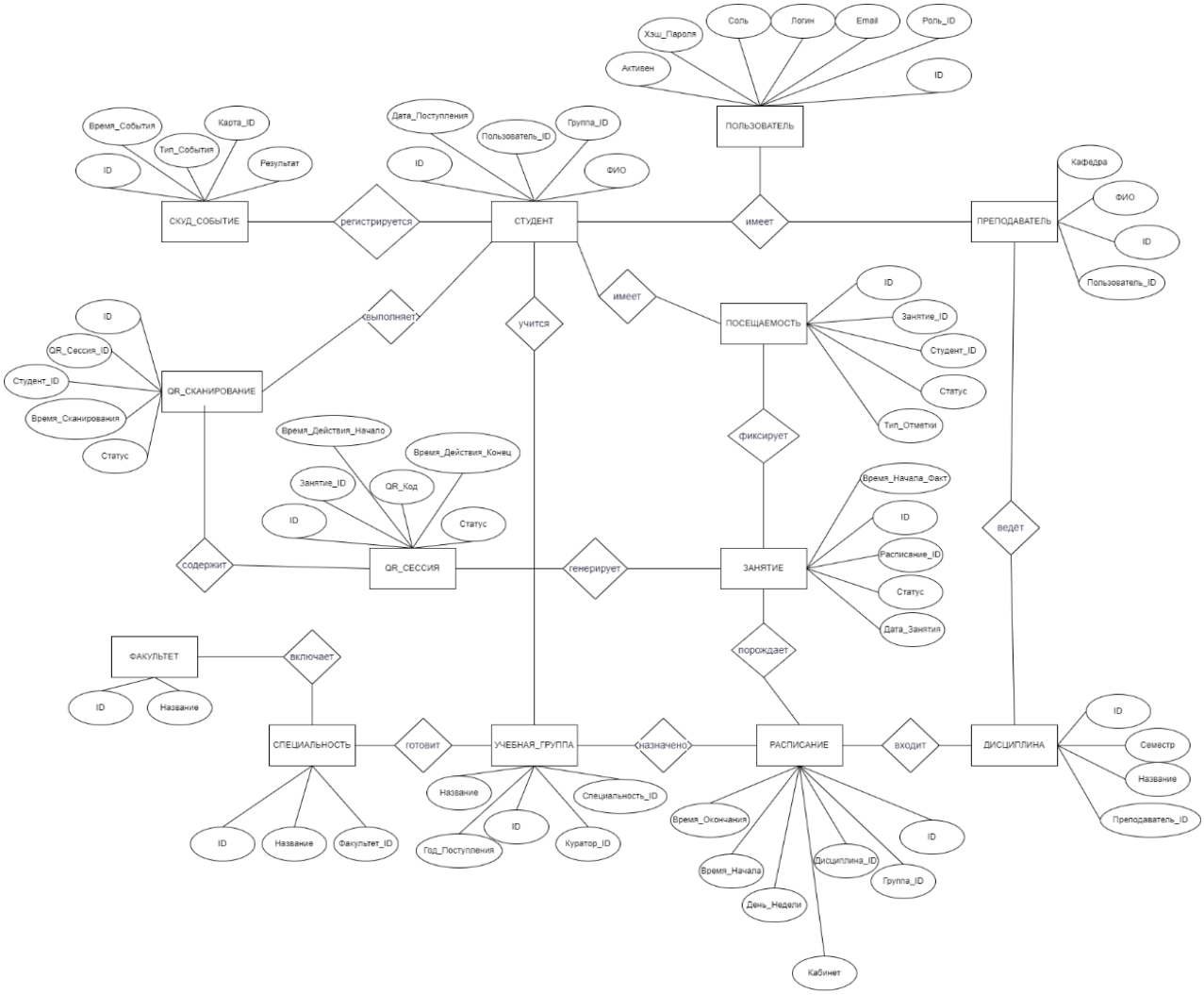


Рис. 1 – Инфологическая модель базы данных (нотация Чена)

Дадим описание каждой из представленных сущностей (таблица 1).

Таблица 1 – Описание сущностей базы данных

Сущность	Атрибуты	Описание
Пользователь	ID (PK), Логин (текст), Хэш_пароля (текст), Соль (текст), Email (текст), Роль_ID (FK), Активен (бит)	Хранит учётные записи всех пользователей. В соответствии с П 268.03-19, пароль хэшируется (SHA-256) с солью, длина не менее

		8 символов, после 5 неудачных попыток – блокировка [6].
Студент	ID (PK), Пользователь_ID (FK), ФИО (текст), Группа_ID (FK), Дата_поступления (дата)	Расширяет пользователя для студентов.
Преподаватель	ID (PK), Пользователь_ID (FK), ФИО (текст), Кафедра (текст), Учёная_степень (текст)	Расширяет пользователя для преподавателей.
Учебная_Группа	ID (PK), Название (текст), Год_поступления (целое), Специальность_ID (FK), Куратор_ID (FK)	Академическая группа. Куратор назначается из числа преподавателей (согласно П 45.07-20).
Специальность	ID (PK), Название (текст), Код (текст), Факультет_ID (FK)	Направление подготовки (например, 09.03.02).
Факультет	ID (PK), Название (текст)	Структурное подразделение института (в институте три факультета) [3].
Дисциплина	ID (PK), Название (текст), Код_дисциплины (текст), Преподаватель_ID (FK), Семестр (целое)	Учебная дисциплина, закреплённая за преподавателем.
Расписание	ID (PK), Группа_ID (FK), Дисциплина_ID (FK), День_недели (целое), Время_начала (время), Время_окончания (время), Аудитория (текст)	Шаблонное расписание на неделю.
Занятие	ID (PK), Расписание_ID (FK), Дата_занятия (дата), Статус (текст), Тема_занятия (текст), Фактическое_время_начала (дата+время)	Конкретное занятие, порождённое из расписания. Триггеры автоматически обновляют статус в зависимости от текущего времени.
Посещаемость	ID (PK), Занятие_ID (FK), Студент_ID (FK), Статус (текст), Тип_отметки (текст), Кто_отметил (FK)	Фиксирует присутствие студента. Тип отметки: ручная, QR, СКУД. Статусы соответствуют классификации П 45.07-20 («Присутствовал», «Отсутствовал», «Опоздал», «Уважительная причина»).
QR_Сессия	ID (PK), Занятие_ID (FK), QR_код (текст), Время_начала (дата+время), Время_окончания (дата+время), Статус (текст)	Сессия генерации QR-кода для занятия. Код действителен ограниченное время (по умолчанию 15 минут).
QR_Сканирование	ID (PK), QR_Сессия_ID (FK), Студент_ID (FK), Время_сканирования (дата+время), IP_адрес (текст), Статус (текст)	Лог сканирований QR-кода студентами. Защита от повторного использования – уникальное ограничение (сессия, студент).

СКУД_Карта	ID (PK), Студент_ID (FK), Номер_карты (текст), Дата_выдачи (дата), Дата_истечения (дата), Статус (текст)	Электронные пропуски студентов. Согласно П 27.06-24, данные о проходах хранятся 30 суток [2].
СКУД_Событие	ID (PK), Карта_ID (FK), Время_события (дата+время), Тип_события (текст), Направление (текст), Результат (текст)	События прохода через турникеты (вход/выход). Используются для автоматической отметки посещаемости.
Уведомления	ID (PK), Пользователь_ID (FK), Тип (текст), Заголовок (текст), Сообщение (текст), Прочитано (бит)	Системные уведомления. В соответствии с П 45.07-20, кураторы информируются о студентах, превысивших порог пропусков (36 часов – выговор, 108 часов – отчисление) [1].
Лог_Действий	ID (PK), Пользователь_ID (FK), Действие (текст), Таблица (текст), Время_действия (дата+время), Статус (текст)	Журнал аудита. Требование П 268.03-19 – регистрация всех значимых действий пользователей [6].
Настройки_Системы	ID (PK), Ключ (текст), Значение (текст), Категория (текст), ТолькоДляАдмина (бит)	Параметры системы (длительность QR, пороги пропусков и др.).

Все таблицы приведены к третьей нормальной форме (3НФ): отсутствуют транзитивные зависимости, все атрибуты зависят только от первичного ключа [4]. Для обеспечения ссылочной целостности используются внешние ключи. Даталогическая модель (физическая схема) реализована на СУБД Microsoft SQL Server 2022. На рисунке 2 представлена упрощённая схема связей.

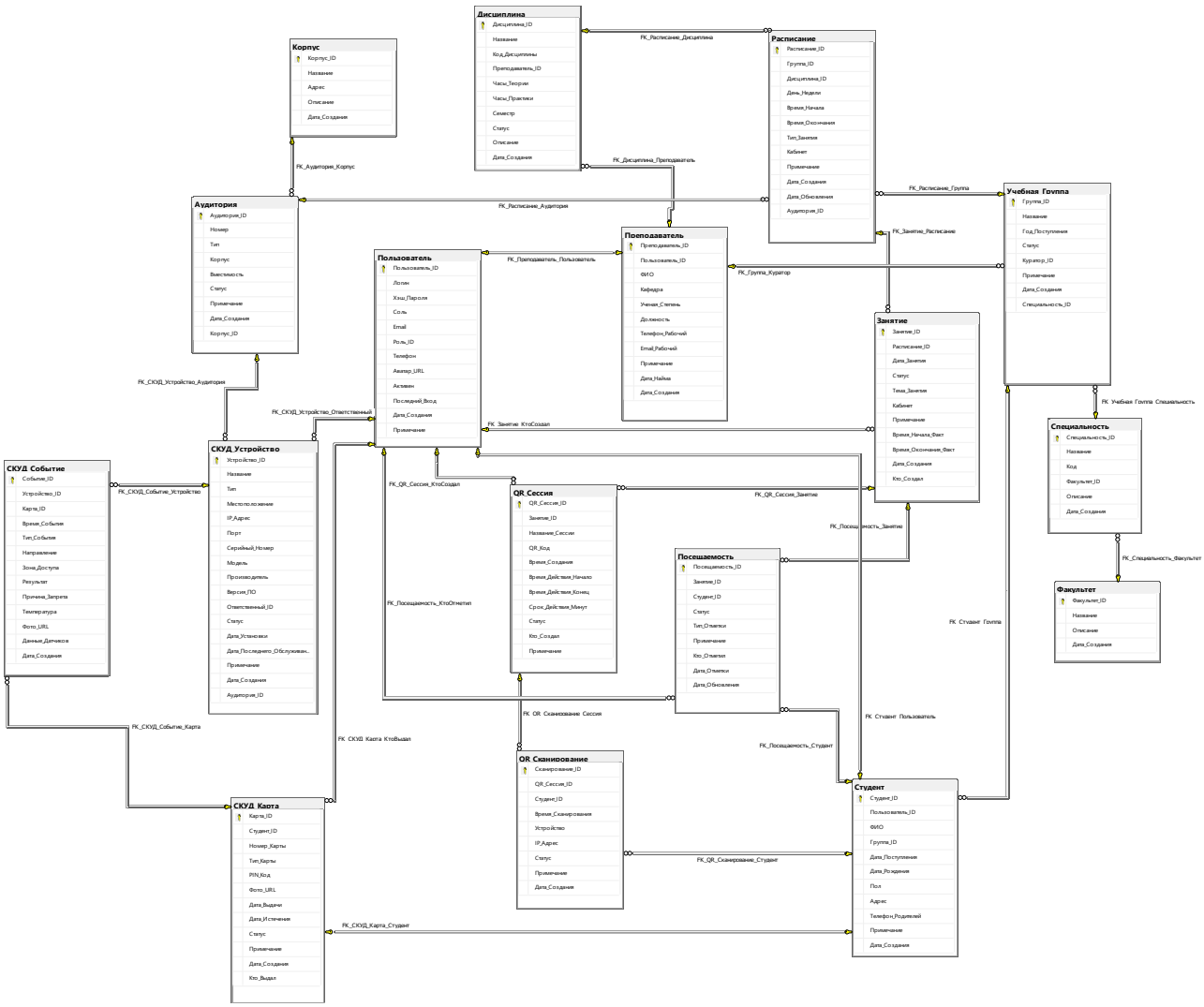


Рис. 2 – Даталогическая модель (физические связи)

Ключевым преимуществом реализации бизнес-логики на стороне базы данных является соответствие требованиям информационной безопасности, изложенным в Политике информационной безопасности НИТУ «МИСИС» (П 268.03-19) [6]. Все операции с персональными данными выполняются через хранимые процедуры, что исключает прямой доступ к таблицам и SQL-инъекции. Дополнительно введён архитектурный принцип: база данных размещается на изолированном сервере с собственным IP-адресом, Никакое клиентское приложение не имеет прямого доступа к портам СУБД. В базе данных реализовано логирование всех действий (таблица Лог_Действий), что обеспечивает аудит в соответствии с п. 15 Политики ИБ [6].

Интеграция с СКУД осуществляется через вебхуки. При проходе студента через турникет система отправляет POST-запрос, который обрабатывается хранимой процедурой ПринятьСобытиеСКУД. Процедура идентифицирует студента по номеру карты, сопоставляет время прохода с расписанием занятий и, если время входа находится в пределах 30 минут до начала или после окончания занятия, автоматически фиксирует посещаемость со статусом «Присутствовал». Это позволяет использовать существующую инфраструктуру пропускного режима (П 27.06-24) для автоматизации учёта без дополнительных аппаратных затрат [2]. При наличии считывателей карт непосредственно в аудиториях (инфраструктура, развёртываемая по мере необходимости) событие прикладывания карты обрабатывается той же процедурой, что обеспечивает гибкость и масштабируемость.

Дополнительная проверка физического присутствия реализована в хранимой процедуре ПроверитьQRИОтметить. Перед разрешением сканирования QR-кода процедура

запрашивает последнее событие входа студента из таблицы СКУД_Событие. Если за последние 30 минут отсутствует событие «Вход_разрешен» или после последнего входа был зафиксирован выход, то сканирование отклоняется с сообщением «Студент должен находиться в здании». Это гарантирует, что QR-код не может быть использован удалённо.

Экспорт данных в 1С: Университет выполняется в формате CSV по запросу методиста. Файл сохраняется в защищённую сетевую папку. Это обеспечивает совместимость с корпоративной ERP-системой без необходимости прямого доступа к её API.

В результате исследовательской работы разработана реляционная база данных, которая является основой автоматизированной системы учёта посещаемости студентов СТИ НИТУ «МИСИС». Архитектурные и программные решения обеспечивают централизованное хранение и целостность данных о посещаемости, соответствие требованиям информационной безопасности, оперативное формирование отчётности для принятия управленческих решений, и, что немаловажно, увеличивают продуктивную продолжительность занятия за счет времени, отводимого на перекличку.

Разработанная база данных может быть тиражирована в других образовательных учреждениях, имеющих схожую структуру учебного процесса и систему контроля доступа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Положение о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся, текущем контроле посещения обучающимися аудиторных занятий в СТИ НИТУ «МИСИС» (П 45.07-20). – Старый Оскол, 2020. – 46 с.
2. Положение о пропускном и внутриобъектовом режимах в СТИ НИТУ «МИСИС» (П 27.06-24). – Старый Оскол, 2024. – 15 с.
3. Отчёт о самообследовании Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиала) НИТУ «МИСИС» за 2021 год. – Старый Оскол, 2021. – 25 с.
4. Гарсиа-Молина Г., Ульман Дж., Уидом Дж. Системы баз данных. Полный курс. – М.: Вильямс, 2003. – 1088 с.
5. Кузнецов С.Д. Основы баз данных. – 2-е изд. – М.: Интернет-университет информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 484 с.
6. Политика информационной безопасности НИТУ «МИСИС» (П 268.03-19). – М., 2019. – 22 с.

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОДБОРА МЕЖДУНАРОДНЫХ СТИПЕНДИАЛЬНЫХ ПРОГРАММ

Мохамед А. И., студент 4 курса
Научный руководитель – старший преподаватель **Ковтун Н.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Доступ к международному образованию становится всё более значимым фактором профессионального и личностного роста. Однако процесс поиска и получения стипендий для обучения в зарубежных вузах связан с рядом сложностей: большим объёмом актуальной информации, строгими требованиями к документам, сжатыми дедлайнами и многоэтапными процедурами подачи заявок. Поэтому на рынке услуг актуальны фирмы, предлагающие комплексную модель сопровождения студентов.

Компания STEP Educational Services (STEP) специализируется на консультировании и оказании помощи студентам в получении стипендий для обучения за рубежом. Ключевыми направлениями деятельности компании являются:

1. Информационно-консультационная поддержка. Компания предоставляет актуальную информацию о стипендиальных программах, университетах-партнерах, требованиях к поступающим и дедлайнах.
2. Подбор стипендиальных программ. Компания выполняет индивидуальный подбор программ в соответствии с академическим профилем, интересами и финансовыми возможностями студента.
3. Помощь в подготовке документов. Компания осуществляет консультирование по сбору необходимых документов, помощь в написании мотивационных писем, подготовке резюме и портфолио.
4. Сопровождение при подаче заявок. Компания оказывает техническую помощь в заполнении и подаче онлайн-заявок на порталы университетов и стипендиальных фондов.
5. Подготовка к тестированию. Компания производит информирование о необходимых языковых и профильных экзаменах (IELTS, TOEFL и др.) и рекомендации по подготовке.
6. Визовая поддержка. Компания проводит консультирование по вопросам получения студенческих виз.

Основную целевую аудиторию компании составляют:

– абитуриенты из Египта и других арабских стран, желающие получить степень бакалавра за рубежом;

– выпускники вузов, планирующие поступление в магистратуру или докторантуру (PhD) за границей;

– студенты, нуждающиеся в полном или частичном финансировании своего образования.

Основным подразделением, обеспечивающим реализацию образовательных услуг компании STEP, является отдел по работе со студентами и консультированию, который отвечает за взаимодействие с потенциальными и действующими клиентами на всех этапах – от первого обращения до зачисления в университет.

Отдел по работе со студентами имеет иерархическое строение, которое представлено на рисунке 1.

В настоящее время компания STEP использует несвязанные между собой инструменты:

– Google Forms – для сбора заявок от студентов;

– Google Sheets – для хранения данных;

– WhatsApp / Email – для общения;

– внешние переводчики – для перевода документов;

– Microsoft Word – для написания мотивационных писем.

Рис. 1 – Организационная структура отдела по работе со студентами

Консультант вручную ищет и подбирает стипендии. Такой подход сопряжён с рядом существенных недостатков: высокой вероятностью пропуска актуальных программ, субъективностью отбора, ошибками при сопоставлении требований стипендии с профилем студента и значительными временными затратами, что в итоге приводит к задержкам в обслуживании клиентов и снижению общей эффективности работы.

Внедрение информационных систем в бизнес-процессы даёт возможность устранить выявленные недостатки и автоматизировать сбор, обработку и анализ данных, обеспечить централизованное хранение информации и создать прозрачную систему контроля на всех этапах работы [1].

Предлагается разработать веб-приложение, которое автоматизирует ключевые процессы работы с заявками на стипендии [2]. Система позволит централизованно собирать и структурировать информацию о стипендиальных программах, осуществлять их автоматический подбор по заданным критериям (академический профиль, дедлайны, география и т.д.), а также обеспечит единый интерфейс для взаимодействия с клиентами, что существенно повысит скорость и точность обработки заявок.

При поступлении пакета документов от студента требуется выполнить многокритериальную оценку возможности предоставления ему стипендий. На этом этапе анализируются: уровень академической успеваемости, результаты международных экзаменов, содержание мотивационного письма и резюме, а также соответствие общим и специфическим требованиям целевых программ. По итогам оценки формируется перечень подходящих стипендий с указанием вероятности успешного зачисления.

Алгоритм оценки академического потенциала студента, представленный на рисунке 2, основан на методе Grade-Based Assessment (GBA). В рамках данного подхода основными входными параметрами выступают объективные академические показатели, такие как средний балл успеваемости (GPA), оценки по профильным дисциплинам, результаты стандартизированных экзаменов (IELTS, TOEFL, GRE и т.п.). На основе этих данных система рассчитывает интегральный рейтинг студента, который используется для ранжирования и подбора наиболее подходящих стипендиальных программ с учётом их требований.

Система принимает 12 полей данных от студента на странице «Оценить профиль», после чего сохраняет полученную информацию в базе данных. Интерфейс по заполнению формы для оценки представлен на рисунке 3. Далее система автоматически сравнивает введённые данные с базой стипендий, включающей более 300 предложений из 30 стран.

На основе заданных весовых коэффициентов рассчитывается процент соответствия студента каждой стипендии:

– GPA — 40 %;
– степень — 20 %;
– уровень языка — 15 %;
– достижения — 15 %;

– волонтёрство — 10 %.

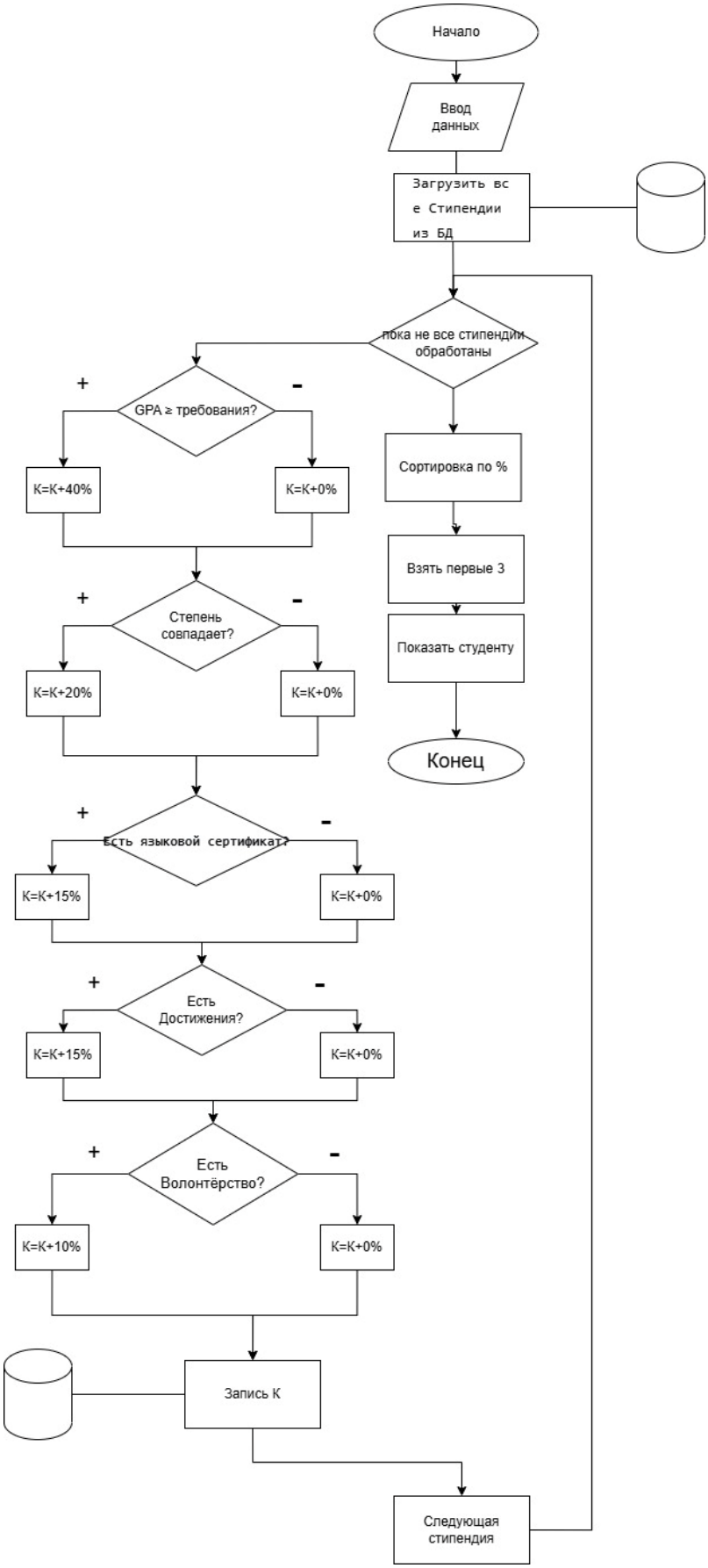


Рис. 2 – Алгоритм оценки студента

Из всего массива данных система автоматически, без участия консультанта, выбирает три наиболее подходящие стипендии и отображает студенту следующие сведения о каждой из них: название, страна, дедлайн подачи заявки, покрытие расходов и процент соответствия профилю студента.

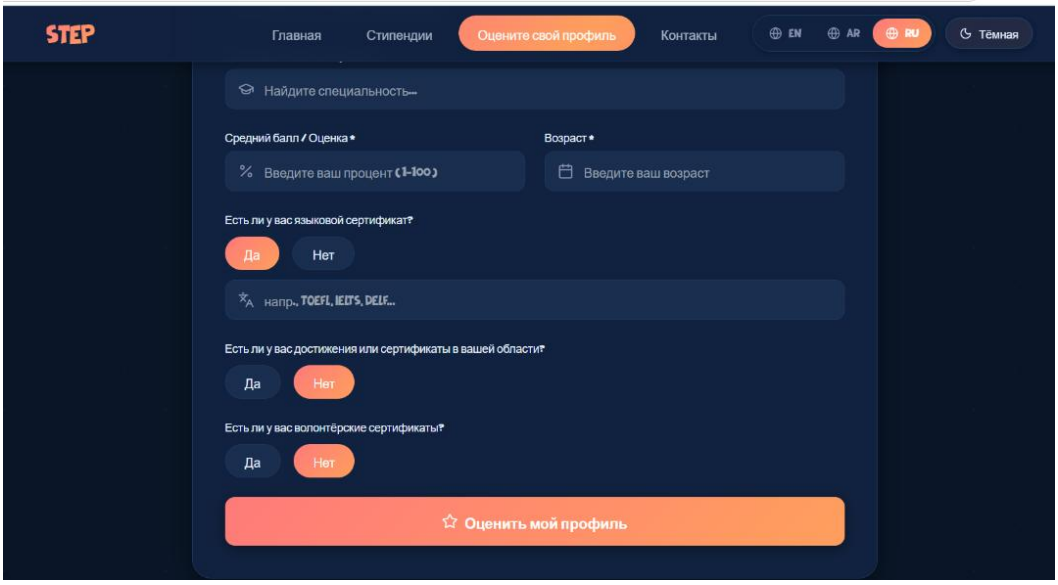


Рис. 3 – Форма по заполнению данных для оценки студента

Процесс сопровождения подачи заявки начинается со связи консультанта со студентом. В ходе взаимодействия специалист запрашивает все недостающие документы. Если требуется перевод каких-либо материалов, консультант организует эту работу. Далее он готовит мотивационное письмо. После сбора и подготовки полного пакета документов специалист компании подаёт заявку в университет, а затем информирует студента о том, что заявка успешно отправлена.

Разработанная информационная система для подбора стипендиальных программ представляет комплексное решение, направленное на оптимизацию процесса поиска и подачи заявок на стипендию, что упрощает и ускоряет процесс поиска стипендий и повышает его прозрачность, предоставляя студентам четкое понимание своих возможностей и направлений для развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ипатова, Э. Р. Методологии и технологии системного проектирования информационных систем : учебник / Э. Р. Ипатова, Ю. В. Ипатов. – 3-е изд., стер. – Москва: ФЛИНТА, 2021. – 256 с. : табл., схем. – (Информационные технологии). – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=79551 (дата обращения: 04.04.2026). – Библиогр.: с. 95-96. – ISBN 978-5-89349-978-0. – Текст : электронный.

2. Полуэктова, Н. Р. Разработка веб-приложений : учебник для вузов / Н. Р. Полуэктова. – 2-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2026. – 204 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-18645-1. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт : [сайт]. – URL: https://urait.ru/bcode/588458 (дата обращения: 08.04.2026). – Текст : электронный.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП ПЕЧЕЙ ОТЖИГА СПЦ-2 АО «ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА»

Муравьев В.К., студент 4 курса
Руководитель работы – к.п.н., доцент **Гамбург К.С.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В данной статье рассматривается возможность модернизации АСУ ТП печей отжига АО «ОЭМК».

Основной задачей АСУТП на данном объекте управления является поддержание требуемой температуры в печи, так на объектах установлены множество средств измерительной периферии. В систему автоматизации поступает информация о показателях температуры, давления и расхода природного газа и воздуха, идущих на горелки, температура внутри самой печи, содержание вредных веществ в дымовых газах и многое другое.

Также действующая система АСУТП может работать как в ручном режиме, когда оператор самолично задаёт параметры каждому исполнительному механизму, так и в автоматическом, когда оператор выставляет желаемые уставки, а система сама за счёт произведения вычислений определяет оптимальные показатели для исполнительных механизмов.

Проведя описание рассматриваемого объекта, можно сделать следующие выводы:

- Используемая измерительная периферия устарела и не отвечает современным требованиям точности из-за физического износа и морального устаревания.

- Применяемые контроллеры системы управления технологическим процессом и системы противоаварийной защиты уже давно не выпускаются, что затрудняет поиск их запасных деталей. При этом также необходимо отметить, что с течением времени количество сигналов, требующих обработки, непрерывно растёт, а используемое оборудование может обрабатывать, только ограниченное количество сигналов.

- Неоптимальное управление, следствием которого является перерасход топлива, идущего на поддержание температуры, что по сути является дополнительным расходом финансовых ресурсов и снижает рентабельность производства.

Для решения описанных проблем предлагается произвести обновление измерительной периферии. Также требуется произвести замену контроллеров старых поколений на современные для увеличения вычислительной мощности АСУТП.

Исполнение предложенных решений позволит повысить рентабельность функционирования объекта и позволит повысить надёжность при его работе.

Математическая модель по поддержанию температуры в печи отжига является сложной и включает в себя дополнительные контуры расхода газа и воздуха. Данная модель представлена на рисунке 1.

По результатам моделирования видно, что объект адекватно реагирует на изменение задания и возмущения. Переходные характеристики без перерегулирования и статической ошибки. Следовательно, можно сделать вывод, что построение модели и подбор коэффициентов регулятора прошли успешно.

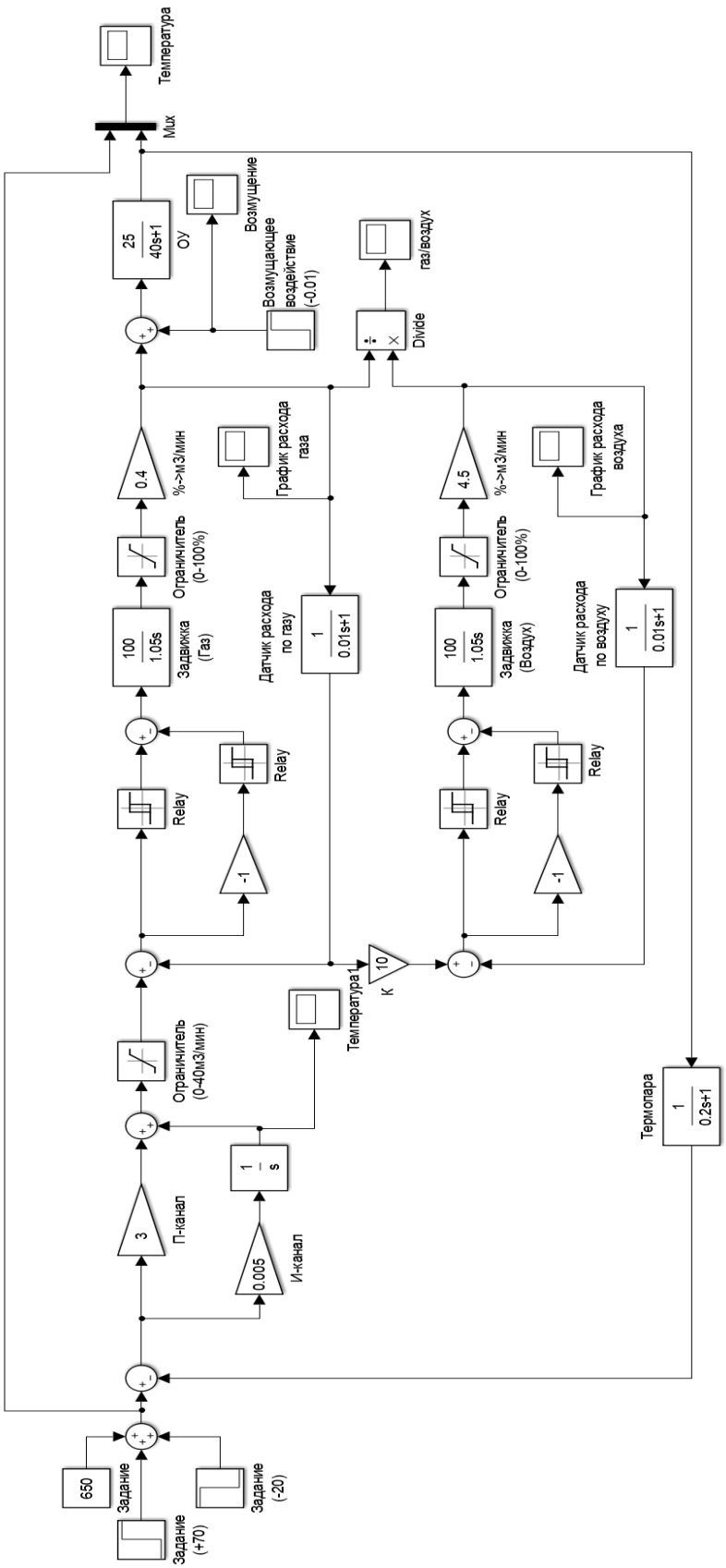


Рис. 1 – Математическая модель

В результате работы схемы получаем графики, приведенные на рисунках 2,3,4,5.

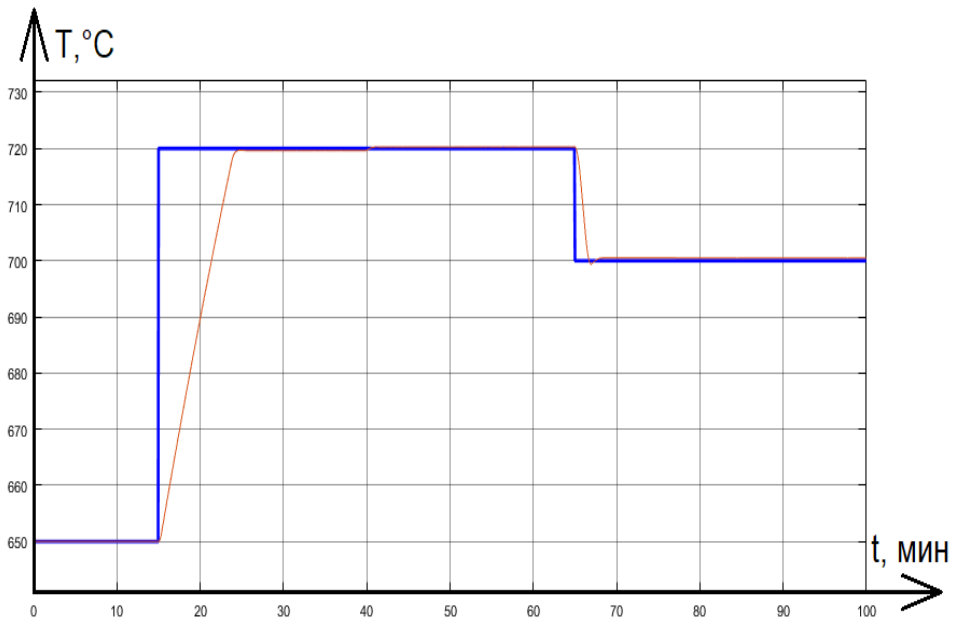


Рис. 2 – График измерения температуры в зоне печи

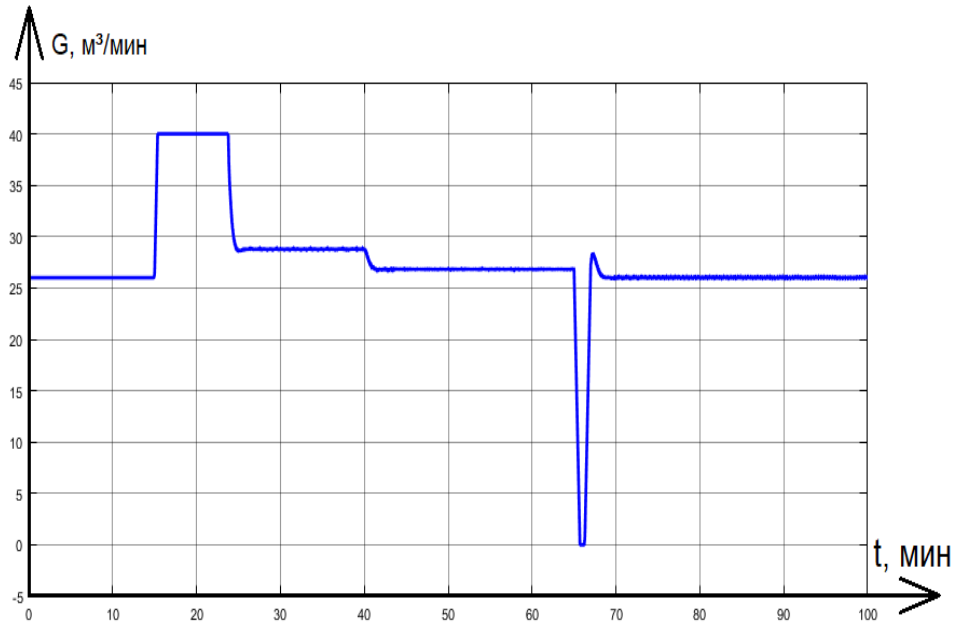


Рис. 3– График расхода газа на стабилизацию температуры

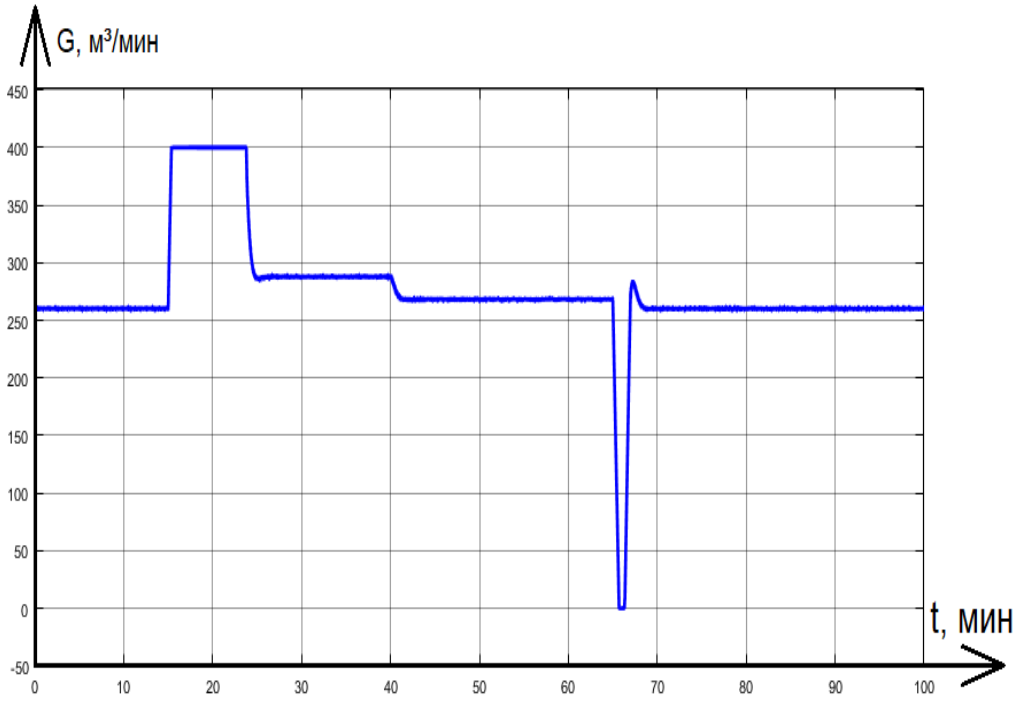


Рис. 4 – График расхода воздуха на стабилизацию температуры

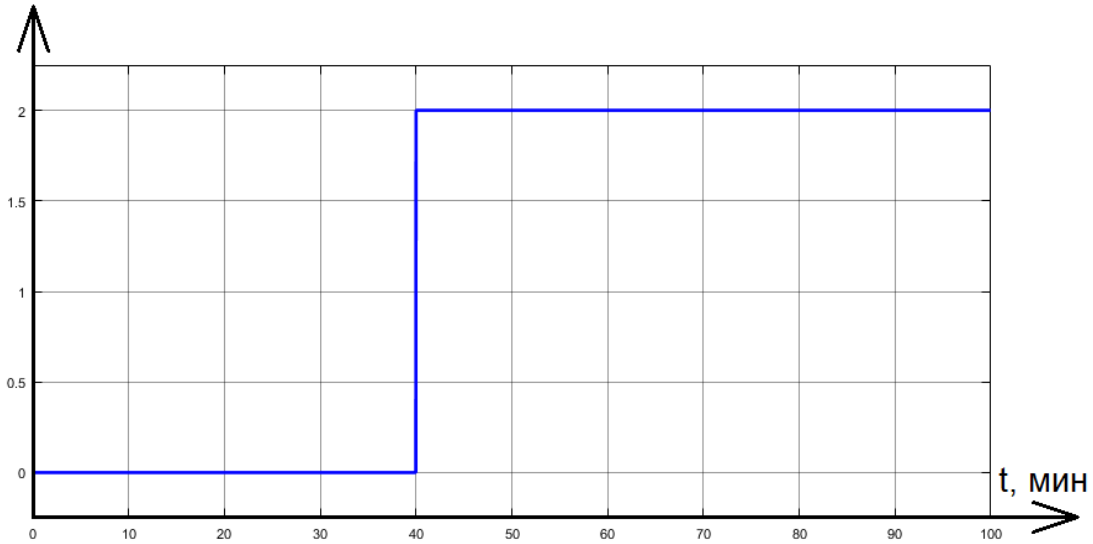


Рис. 5– График возмущения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслов, В.И. Рациональное сжигание газообразного топлива в металлургических агрегатах. / В.И.Маслов, А.А. Винтовкин, Г.М. Дружинин -М.: Металлургия. 1987-112С.-текст непосредственный.

2. Кузнецов, В.Н. Средства автоматизации и управления: учебник/ В. Н. Кузнецов, В. А. Кривоносов, В. С. Есилевский. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 356 с.- текст непосредственный.

РАЗРАБОТКА РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА АВТОЗАПЧАСТЕЙ

Нежмелдин В.Р., студент 4 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Симонова А.Г.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федеральногогосударственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ«МИСИС»)

Рынок автозапчастей в России характеризуется большим количеством поставщиков, широкой номенклатурой товаров и сложной системой совместимости деталей с различными марками и моделями автомобилей. Многие небольшие интернет-магазины автозапчастей сталкиваются с типичными проблемами:

1. Сложность подбора запчастей – покупателю трудно определить, подходит ли деталь к его автомобилю (марка, модель, год выпуска, VIN, модификация двигателя). Отсутствие структурированного каталога совместимости приводит к возвратам и ошибкам.
2. Децентрализованный учёт остатков – остатки хранятся в Excel или не синхронизируются с реальным складом. Часты ситуации, когда товар заказан, но его нет в наличии.
3. Отсутствие интеграции с поставщиками – магазины вручную проверяют наличие у дистрибьюторов, что занимает много времени.
4. Ручное формирование заказов – менеджеры тратят до 20 минут на один заказ (подбор аналогов, проверка совместимости, расчёт доставки).
5. Проблема с аналогами и оригинальными номерами – одна и та же деталь может иметь десятки OEM-номеров и аналогов от разных производителей. Покупатель часто не знает, что искать.

По данным опроса владельцев 40 интернет-магазинов автозапчастей, 80% сталкиваются с возвратами из-за неправильного подбора деталей. 65% теряют до 15% выручки из-за неактуальных остатков на складе.

Цель работы – разработка реляционной базы данных для интернет-магазина автозапчастей, обеспечивающей централизованный учёт товаров, автоматическую проверку совместимости с автомобилями, управление аналогами и OEM-номерами, а также интеграцию с поставщиками.

Архитектура системы

Система построена по принципу «толстой» базы данных (Thick Database), аналогично предыдущим проектам.

- Клиентский уровень – веб-сайт интернет-магазина. Покупатель выбирает марку, модель, год автомобиля, затем ищет запчасти по названию, OEM-номеру или категории.
- Сервер приложений – PHP-скрипт, который принимает запросы, аутентифицирует пользователя, вызывает хранимые процедуры и возвращает JSON. Бизнес-логика на сервере отсутствует.
- Уровень базы данных – Microsoft SQL Server 2022. Все операции (поиск по совместимости, подбор аналогов, проверка остатков у поставщиков, формирование заказа) реализованы в виде хранимых процедур и триггеров.

База данных развёрнута на изолированном сервере с выделенным IP. Взаимодействие через API по HTTPS. Прямого доступа клиентов к СУБД нет.

Ключевая особенность – таблицы совместимости запчастей с автомобилями (по марке, модели, году, модификации двигателя, кузову) и автоматический подбор аналогов через связь OEM-номеров. Система также позволяет отслеживать остатки не только на собственном складе, но и у внешних поставщиков.

Инфологическая модель (ER-диаграмма в нотации Чена)

Диаграмма в стиле «пузырьки» представлена на рисунке 1. Сущности: Пользователь, Клиент, Менеджер, Автомобиль_Марка, Автомобиль_Модель, Автомобиль_Модификация, Категория_Запчасти, Запчасть, OEM_Номер, Аналог, Совместимость, Поставщик, Товар_На_Складе, Корзина, Заказ, Статус_Заказа, Платеж, Доставка, Лог_Действий.

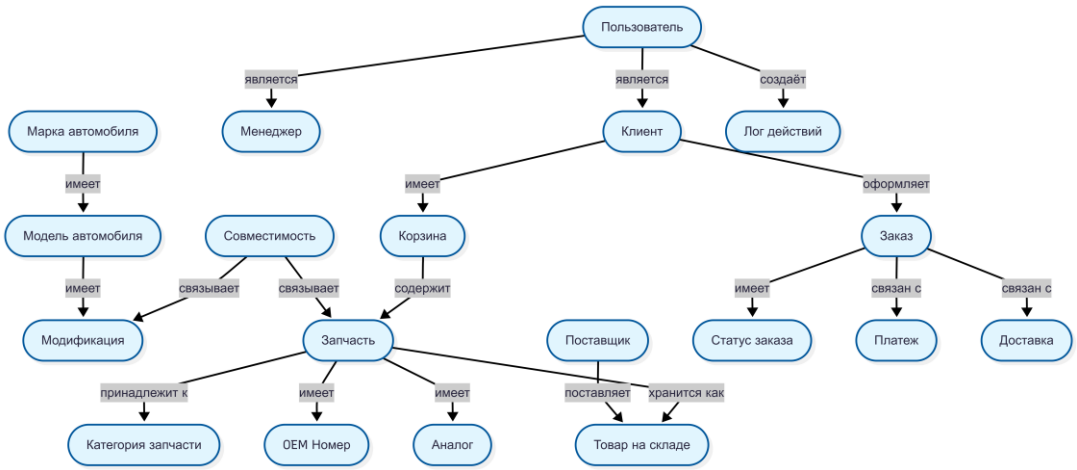


Рис. 1 – Инфологическая модель интернет-магазина автозапчастей (нотация Чена)

Все таблицы приведены к 3НФ. Физическая схема (рисунок 2) реализована на Microsoft SQL Server 2022. Описание сущностей – в таблице 1.

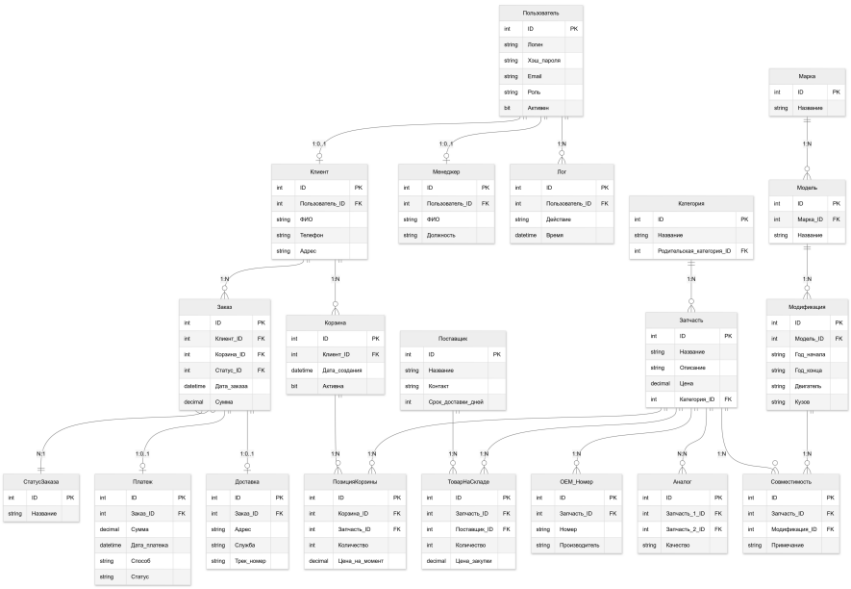


Рис. 2 – Даталогическая модель (физические связи)

Таблица 1 – Описание сущностей базы данных

Сущность	**Атрибуты**	**Описание**
Пользователь	ID (PK), Логин, Хэш_пароля, Email, Роль, Активен	Учётные записи клиентов и менеджеров.
Клиент	ID (PK), Пользователь_ID (FK), ФИО, Телефон, Адрес	Покупатель.

Сущность	Атрибуты	Описание
Менеджер	ID (PK), Пользователь_ID (FK), ФИО, Должность	Сотрудник магазина.
Марка	ID (PK), Название	Марка автомобиля (Toyota, BMW и т.д.).
Модель	ID (PK), Марка_ID (FK), Название	Модель (Camry, X5).
Модификация	ID (PK), Модель_ID (FK), Год_начала, Год_конца, Двигатель, Кузов	Конкретная версия автомобиля.
Категория	ID (PK), Название, Родительская_категория_ID (FK)	Иерархия запчастей (двигатель, подвеска, тормоза).
Запчасть	ID (PK), Название, Описание, Цена, Категория_ID (FK)	Деталь.
OEM_Номер	ID (PK), Запчасть_ID (FK), Номер, Производитель	Оригинальный каталожный номер.
Аналог	ID (PK), Запчасть_1_ID (FK), Запчасть_2_ID (FK), Качество	Связь взаимозаменяемых деталей.
Совместимость	ID (PK), Запчасть_ID (FK), Модификация_ID (FK), Примечание	Таблица совместимости.
Поставщик	ID (PK), Название, Контакт, Срок_доставки_дней	Внешний поставщик.
ТоварНаСкладе	ID (PK), Запчасть_ID (FK), Поставщик_ID (FK), Количество, Цена_закупки	Остатки.
Корзина	ID (PK), Клиент_ID (FK), Дата_создания, Активна	Сессия покупки.

Сущность	Атрибуты	Описание
ПозицияКорзины	ID (PK), Корзина_ID (FK), Запчасть_ID (FK), Количество, Цена_на_момент	Товар в корзине.
Заказ	ID (PK), Клиент_ID (FK), Корзина_ID (FK), Статус_ID (FK), Дата_заказа, Сумма	Оформленный заказ.
СтатусЗаказа	ID (PK), Название	Новый, оплачен, отгружен, доставлен.
Платеж	ID (PK), Заказ_ID (FK), Сумма, Дата_платежа, Способ, Статус	Транзакция.
Доставка	ID (PK), Заказ_ID (FK), Адрес, Служба, Трек_номер	Логистика.
Лог	ID (PK), Пользователь_ID (FK), Действие, Время	Аудит.

Реализация бизнес-логики (хранимые процедуры)

Вся логика подбора запчастей и проверки совместимости реализована на стороне базы данных. Основные процедуры:

1. 1. НайтиЗапчастиПоСовместимости

Принимает ID модификации автомобиля (или параметры: марка, модель, год, двигатель).

Алгоритм:

- По переданным параметрам определяет модификацию (таблица Модификация).
- Выбирает все запчасти, имеющие запись в таблице Совместимость для этой модификации.
- Возвращает список запчастей с ценами и остатками (с учётом ТоварНаСкладе).
- Дополнительно показывает аналоги (через таблицу Аналог).

2. 2. НайтиПоОЕМномеру

Принимает ОЕМ-номер (строку).

Алгоритм:

- Ищет в таблице ОЕМ_Номер точное совпадение.
- Если не найдено, выполняет поиск по частичному совпадению (LIKE).
- Возвращает запчасть и список её аналогов.

3. 3. ПроверитьОстаткиУПоставщиков

Принимает ID запчасти и требуемое количество. Алгоритм:

- Если на собственном складе (ТоварНаСкладе с Поставщик_ID = собственный склад) достаточно – возвращает успех.
- Если нет – опрашивает внешних поставщиков (в реальной системе через API, в базе хранятся только справочные данные).
- Возвращает список поставщиков, у которых есть товар, с указанием цены и срока доставки.

4. 4. Триггер trg_ПослеОплатыЗаказа

При изменении статуса платежа на «Успешно» автоматически списывает товары из ТоварНаСкладе (уменьшает количество), изменяет статус заказа и создаёт уведомление менеджеру о необходимости отгрузки.

Интеграция с внешними системами

- Платёжные системы (ЮKassa, Tinkoff) – вебхуки вызывают процедуру ПодтвердитьПлатеж.
- Службы доставки (CDEK, Boxberry) – автоматическое создание заявки на отправку при смене статуса заказа.
- Поставщики – планируется интеграция через API для автоматической проверки остатков (в текущей версии данные обновляются вручную через CSV).
- 1С:Бухгалтерия – экспорт закрытых заказов для учёта

Безопасность

- Аутентификация по логину/паролю (хэширование SHA-256 с солью).
- Ролевая модель: клиент (только корзина и заказы), менеджер (управление товарами, заказами), администратор (полный доступ).
- Логирование всех критических действий (изменение цен, списание остатков, изменение статуса заказа).
- HTTPS для всех взаимодействий.

Соответствует Политике информационной безопасности НИТУ «МИСИС» (П 268.03-1

Результаты и выводы

Разработанная реляционная база данных для интернет-магазина автозапчастей обеспечивает:

- Централизованное хранение каталога запчастей с поддержкой OEM-номеров и аналогов.
- Автоматическую проверку совместимости с автомобилями через таблицы Марка → Модель → Модификация → Совместимость.
- Управление остатками как на собственном складе, так и у внешних поставщиков.
- Быстрый поиск по OEM-номеру, названию или параметрам автомобиля.
- Сокращение времени обработки заказа с 20 минут до 2–3 минут.
- Снижение количества возвратов из-за неправильного подбора запчастей.

Система может быть тиражирована для любых интернет-магазинов, торгующих технически сложными товарами с требованиями совместимости (электроника, запчасти для бытовой техники).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарсиа-Молина Г., Ульман Дж., Уидом Дж. Системы баз данных. Полный курс. – М.: Вильямс, 2003. – 1088 с.

2. Кузнецов С.Д. Основы баз данных. – 2-е изд. – М.: Интернет-университет информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 484 с.

3. Политика информационной безопасности НИТУ «МИСИС» (П 268.03-19). – М., 2019. – 22 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СУШКОЙ ШЛАКА АО «ЦЕМРОС»

Немцев Н.П., студент 5 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Полещенко Д.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Основной целью данной статьи является разработка математической модели контура стабилизации температуры при сушке шлака.

Первым этапом в построении математической модели обновленной системы автоматизации является моделирование контура по поддержанию температуры в сушильном барабане.

Качество регулирования температуры на прямую влияет на экономическую эффективность работы технологического агрегата и на качество продукта, проходящего сушку.

Перед расчётом параметров математической модели проектируем функциональную схему, которая опишет структуру моделируемой системы поддержания температуры.

Данная функциональная схема представлена на рисунке 1.

Значение уставки температуры, которую определяет оператор, поступает на элемент сравнения, на котором производится расчёт разницы между фактической температурой в барабане сушильного котла и температурой, заданной оператором.

Полученное значение разницы температур поступает на регулятор, который формирует задание на расход природного газа, сгораемого в топке. Сформированное задание поступает на контур по регулированию расхода природного газа. В начале работы в контуре производится расчёт рассогласования между тем заданием, которое сформировал регулятор и фактическим значением, которое измеряется по средствам расходомера. На основе полученной невязки трёхпозиционный регулятор формирует управляющее воздействие на исполнительный механизм, в роли которого выступает задвижка по расходу газа.

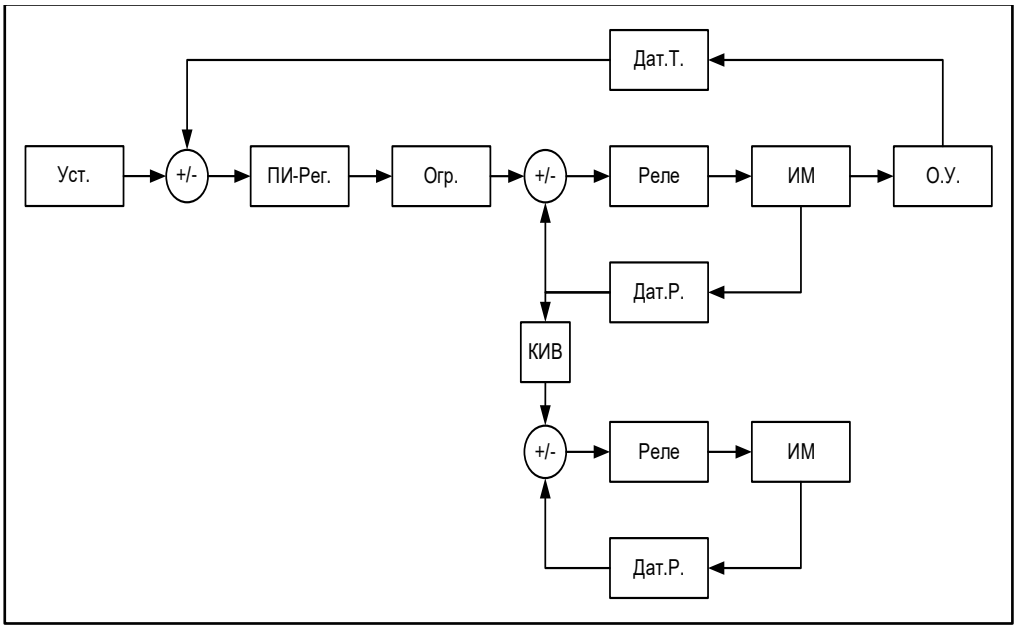


Рис. 1 – Функциональная схема

Так же в представленной схеме присутствует контур по расходу воздуха. Для определения задания на расход воздуха фактический расход природного газа увеличивается в соответствии с коэффициентом соотношения и вычисленное значение поступает на контур по

регулированию расхода воздуха горения. В начале работы в контуре производится расчёт рассогласования между тем заданием и фактическим значением, которое измеряется по средствам расходомера. На основе полученной невязки трёхпозиционный регулятор формирует управляющее воздействие на исполнительный механизм, в роли которого выступает задвижка по расходу воздуха.

Выполним расчёт передаточных функций математической модели регулирования температуры.

Согласно разработанной схеме, объектом управления в контуре по температуре выступает камера сгорания. На вход модели объекта управления поступает расход газа на горелке, на выходе значение температуры. Для описания такого объекта будем использовать апериодическое звено первого порядка. Проставленная передаточная функция с допустимой точностью опишет процессы протекающие в объекте управления. Данное звено представлено в формуле (1) ниже.

$$W_{\text{ОУ}}(S) = \frac{k_{\text{ОУ}}}{T_{\text{ОУ}} \cdot S + 1} \quad (1)$$

Для расчёта параметров модели воспользуемся информацией из документации по данному агрегату. Так, в технической документации написано, что максимальная температура может равняться 700 градусам Цельсия и достигается за счёт максимального расхода топлива, в нашем случае природного газа. Зная, что максимальный расход равняется 50 м^3/мин, выполним расчёт коэффициента усиления согласно формуле (2).

$$k_{\text{ОУ}} = \frac{T_{\text{кам}}}{G_{\text{газ}}} \quad (2)$$

где $T_{\text{кам}}$ – температура, $G_{\text{газ}}$- максимальный расход природного газа.

$$k_{\text{ОУ}} = \frac{T_{\text{кам}}}{G_{\text{газ}}} = \frac{700}{50} = 14$$

Также в формуле (1) необходимо выполнить расчёт постоянной времени, которая рассчитывается согласно формуле (3).

$$T_{\text{ОУ}} = \frac{1}{3} \cdot t_{\text{п.п.}} \quad (3)$$

где $t_{\text{п.п.}}$- время переходного процесса, 30 мин.

Учитывая, что время переходного процесса для данного агрегата составляет порядка 15 минут, получим:

$$T_{\text{ОУ}} = \frac{1}{3} \cdot 30 = 10\text{мин};$$

Получив все значения, подставим их в модель объекта управления.

$$W_{\text{ОУ}}(S) = \frac{14}{10S + 1}$$

Далее выберем и высчитаем передаточную функцию для исполнительного механизма по расходу газа. В роли исполнительного механизма примем интегральное звено, в соответствии с формулой (4).

$$W_{\text{г.з.}}(S) = \frac{k_{\text{г.з.}}}{T_{\text{г.з.}} \cdot S} \quad (4)$$

Коэффициент усиления $k_{\text{г.з.}}$ в данной формуле равняется 100, ввиду того что он обозначает максимальную степень открытия задвижки в процентах.

А время переходного процесса $T_{\text{г.з.}}$ равняется 25 секундам (0,417 минутам) так как используется МЭО-40/25-0,25-84.

Исходя из представленной информацию получим модель следующего вида:

$$W_{\text{в.з.}}(S) = \frac{100}{0{,}417 \cdot S}$$

При этом необходимо учитывать факт того, что интегральное звено может иметь на

выходе значение во много раз превосходящее наше значение степени открытия, следовательно, после интегрального звена необходимо поставить ограничитель.

При этом выходом ограничителя выступает процент открытия, а нам необходимо знать физический расход топлива. Так как выше мы уже заявляли максимальный расход природного газа равным 50 м^3/мин, высчитаем коэффициент перевода процента открытия задвижки в физический расход в соответствии с формулой (5).

$$k_{\text{р.г.}} = \frac{G_{\text{газ.макс}}}{100} = \frac{50}{100} = 0{,}5; \tag{5}$$

Последним элементом в контуре по расходу природного газа выступает датчик расхода, находящийся в отрицательной обратной связи. Расходомеры имеют крайне малую инерционность, а, следовательно, постоянной времени можно пренебречь и описать датчик как усилительное звено с коэффициентом равным одному, формула (6).

$$W_{\text{д.г.}}(S) = 1 \tag{6}$$

Далее выберем и высчитаем передаточную функцию для исполнительного механизма по воздуху, идущего на горение. В роли исполнительного механизма примем интегральное звено, в соответствии с формулой (4).

$$W_{\text{в.з.}}(S) = \frac{k_{\text{в.з.}}}{T_{\text{в.з.}} \cdot S} \tag{7}$$

Коэффициент усиления $k_{\text{в.з.}}$ в данной формуле равняется ста ввиду того, что он обозначает максимальную степень открытия задвижки в процентах.

А время переходного процесса $T_{\text{в.з.}}$ равняется 25 секундам (0,417 минутам) так как используется МЭО-40/25-0,25-84.

Исходя из представленной информацию получим модель следующего вида:

$$W_{\text{в.з.}}(S) = \frac{100}{0{,}417 \cdot S}$$

При этом необходимо учитывать факт того, что интегральное звено может иметь на выходе значение во много раз превосходящее наше значение степени открытия, следовательно, после интегрального звена необходимо поставить ограничитель.

При этом выходом ограничителя выступает процент открытия, а нам необходимо знать физический расход воздуха. По технической документации максимальный расход воздуха равняется 600 м^3/мин, высчитаем коэффициент перевода процента открытия задвижки в физический расход в соответствии с формулой (8).

$$k_{\text{р.в.}} = \frac{G_{\text{возд.макс}}}{100} = \frac{600}{100} = 6; \tag{8}$$

Последним элементом в контуре по расходу воздуха выступает датчик расхода, находящийся в отрицательной обратной связи. Расходомеры имеют крайне малую инерционность, а, следовательно, постоянной времени можно пренебречь и описать датчик как усилительное звено с коэффициентом равным одному (формула 9).

$$W_{\text{д.в.}}(S) = 1 \tag{9}$$

Для описания датчика температуры используем апериодическое звено первого порядка, представленное в формуле (10).

$$W_{\text{Т}}(S) = \frac{k_{\text{Т}}}{T_{\text{Т}} \cdot S + 1} \tag{10}$$

Для датчика температуры коэффициент усиления $k_{\text{Т}}$ равняется одному, а время переходного процесса по паспортным данным равняется 0,1 минута, следовательно получим.

$$W_{\text{Т}}(S) = \frac{1}{0{,}1S + 1}$$

Нижний предел равен нулю, а верхний максимальному расходу газа.

Коэффициенты для ПИ-регулятора были подобраны в результате множественных экспериментов и равняются:

- $k_{\text{п}} = 0{,}7$;
- $k_{\text{и}} = 0{,}01$.

Моделирование математической модели проводилось в Matlab, схема представлена на рисунке 2.

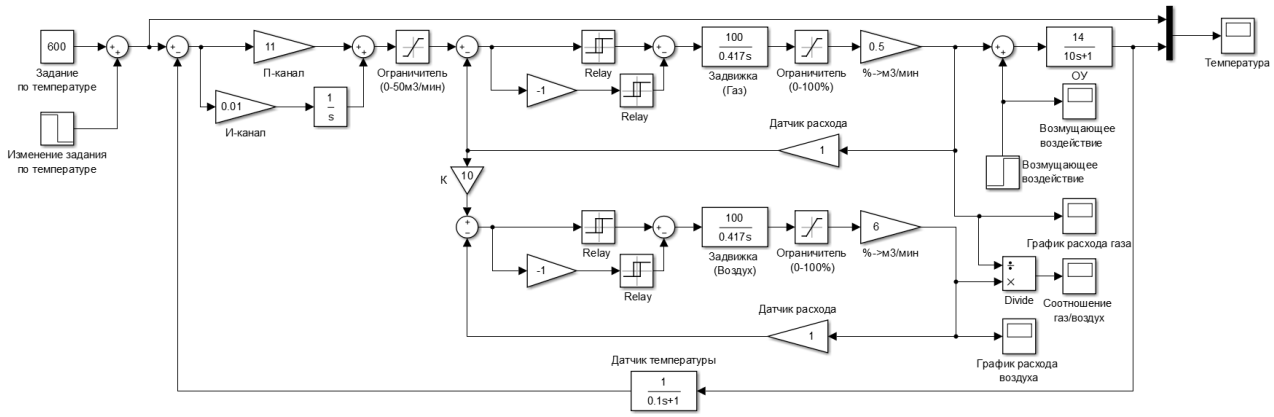


Рис. 2 – Математическая модель

Результаты работы математической модели представлены на рисунках 3.

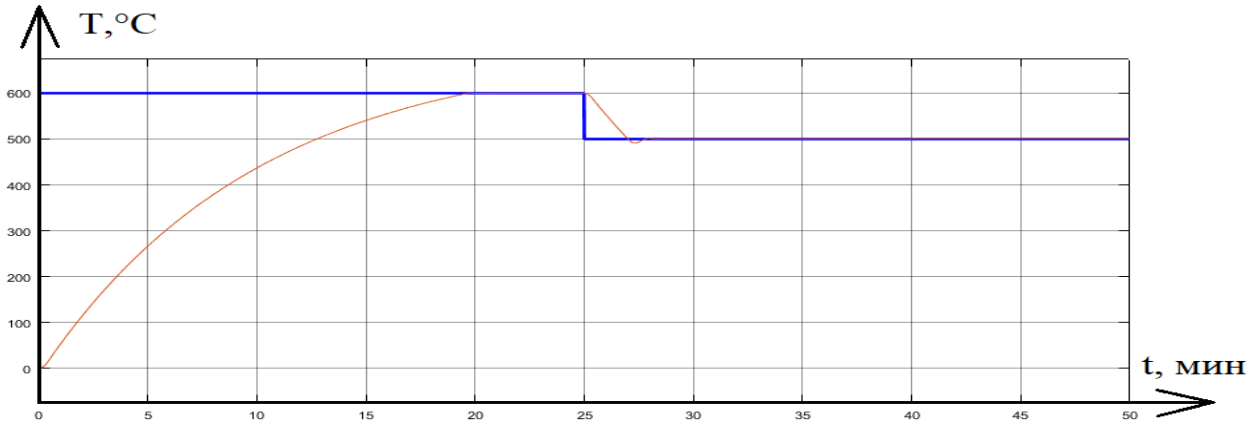


Рис. 3 – Переходный процесс по температуре

В процессе моделирования воспроизводилась ситуация, когда из нулевого положения система должна была выйти на задание равное 600 градусам Цельсия. Система вышла на задание без перерегулирования за 19 минут, за счёт увеличения расхода природного газа и воздуха. После чего на 25 минуте задание по температуре упало на 100 градусов Цельсия. Система отреагировала уменьшением расхода газа и воздуха и с незначительным перерегулированием вышла на задание за 3 минуты. На 40 минуте было подано возмущающее воздействие, которое не повлияла на температуру, так как система компенсировала это путём изменения расхода топлива.

По результатам моделирования видно, что система корректно работает и все коэффициенты регуляторов подобраны оптимально.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский В.Н., Сканави А.Н. Цементное производство. Учебник для вузов. - М.: Стройиздат, 1991-735с. – Текст: непоср.

2. Игошин Н.В. Инвестиции. Организация управления и финансирование: Учебник для вузов. – М.: Финансы, ЮНИТИ, 1999. – 413 с. – Текст: непоср.

3. Инструкция по организации производственного контроля на цементных предприятиях. - М.: Министерство пром-сти строительных материалов, 1982. – Текст: непоср.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА БАШЕННОГО КРАНА КБ 308А ЦМК ООО «РУДСТРОЙ»

Николаев М.А., студент
Научный руководитель – к.т.н. доцент, **Петров В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

ООО «РУДСТРОЙ» – российская производственная компания, специализирующаяся на изготовлении металлоконструкций и предоставлении комплексных решений для строительной, горнодобывающей и промышленной отраслей. Предприятие является одним их наиболее крупных предприятий строительной отрасли Белгородской области и занимает ведущее место среди общестроительных и специализированных предприятий, занимающимися проектированием, производством и монтажом грузоподъемного оборудования, включая башенные краны, а также изготовлением металлических конструкций для промышленного и гражданского строительства. [1,2]

Цех располагается на основной производственной площадке комплекса, находящейся на территории ОАО «Лебединский ГОК» в г. Губкин. Цех представляет собой одноэтажное каркасное здание (пролёт) большой площади и высоты, рассчитанное на размещение тяжёлого оборудования и крупногабаритных заготовок. Имеет прямую транспортную логистическую связь со складом металлопроката и зоной отгрузки готовой продукции.

Рабочий цикл башенного крана начинается с команды крановщика на запуск системы, после чего включается электродвигатель. На лебедке закрепляют груз, и контроллер подает сигнал на подъем. Затем двигатель регулирует скорость подъема. Крановщик оценивает ее и при необходимости корректирует параметры. Когда скорость становится достаточной, начинается перемещение груза. В ходе движения крановщик контролирует положение груза и проверяет, достигнута ли нужная высота. Если нет, система снова регулирует подъем. После достижения нужной позиции груз растроповывают, а двигатель останавливают.

Главной целью данного проекта является, обеспечение плавного пуска и точного позиционирования груза. Повышение надежности и увеличение срока службы оборудования напрямую связано со снижением механических ударных нагрузок на редуктор, тормозную систему и грузовые канаты.

Существующий уровень модернизации башенного крана не идеален и имеет ряд недостатков.

На данный момент работа башенного крана, основана на классической релейно-контакторной схеме управления с использованием фазного ротора. Она морально устарела и не отличается высокой энергоэффективностью, хорошим качеством регулирования и нуждается в частом ремонте.

Регулирование скорости путем введения дополнительных сопротивлений в цепь ротора приводит к нежелательному рассеиванию энергии в виде тепла.

Понижение напряжения с 380 В до 110 В для питания катушки тормоза через гасящие резисторы является неэффективным решением, которое вызывает тепловые потери активной мощности.

Так же режим динамического торможения потребляет ток из сети, а не рекуперирует кинетическую энергию опускающегося груза обратно в сеть.

Существуют более новые и совершенные механизмы управления подъемом башенного крана. К таким можно отнести векторный частотный электропривод, обладающий рядом преимуществ по сравнению с релейно-контакторными схемами.

Ключевым преимуществом векторного управления является раздельный контроль магнитного потока и крутящего момента двигателя путем математической обработки векторов тока и напряжения. Это позволяет поддерживать заданную скорость с высокой точностью и

не зависеть от изменения массы груза. Векторный режим обеспечивает стабильную работу и плавное вращение без рывков даже на очень низких скоростях.

Для упрощения схемы электропривода предлагается установка векторного частотного электропривода, в соответствии с током статора основного электродвигателя и замыканием обмоток ротора двигателя накоротко.

На основании требований, предъявляемых к электроприводу, производится выбор электродвигателя – МТН-412-6С [3].

Для надежной работы вытяжной вентиляции требуется преобразователь частоты, который соответствует режиму работы: векторное управление– выбираем преобразователь частоты ESQ-600-4T0370G/0450P-BU [5].

Модель асинхронного электропривода с векторной системой управления, представлена на рисунке 1.

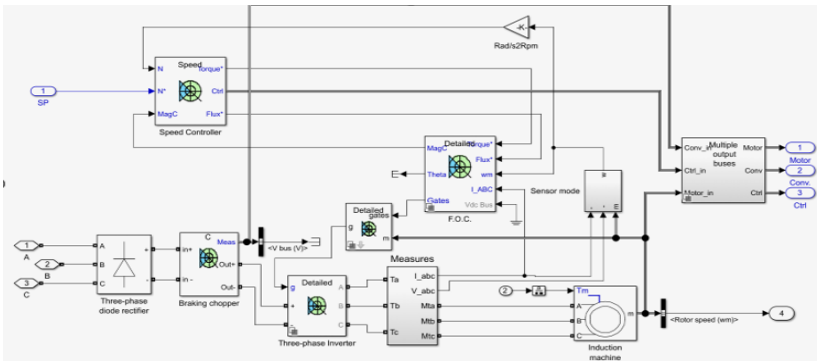


Рис. 1 – Модель электропривода с векторной системой управлением в MATLAB/Simulink

Данная модель включает в себя блоки: регулятора скорости, трёхфазного диодного выпрямителя, тормозного прерывателя, трёхфазного инвертора, блок измерений, блок векторного управления (F.O.C.), асинхронной машины, а также блоки преобразования и вывода сигналов.

В результате моделирования асинхронного привода со скалярным управлением, были получены графики, представленные на рисунке 2.

На данных графиках можно выделить три этапа:

1. этап: разгон двигателя до номинальной скорости – 1000 об/мин;
2. этап: работа на номинальной скорости;
3. этап: торможение и остановка.

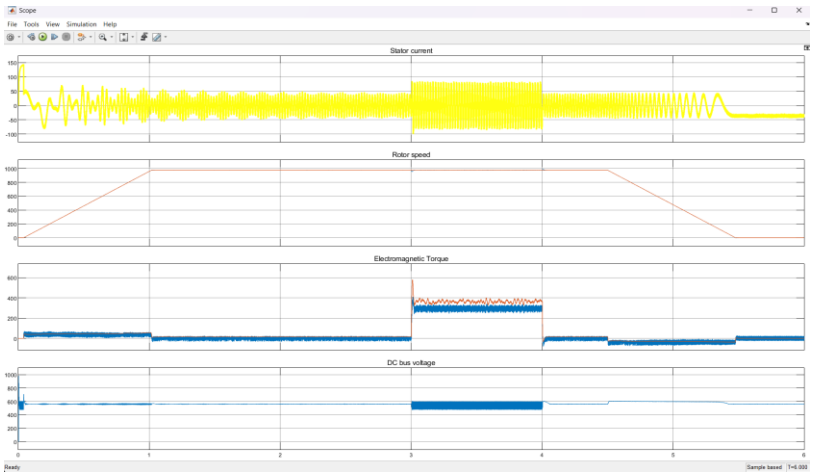


Рис. 2 – Графики результатов моделирования

По результатам моделирования асинхронного электропривода с векторным управлением можно сделать вывод, что система обеспечивает устойчивое и качественное регулирование во всех рассмотренных режимах работы. Пуск двигателя сопровождается кратковременным броском тока статора, после чего ток переходит в установившийся режим. Скорость ротора плавно возрастает до заданного значения, удерживается на требуемом уровне без существенных отклонений и затем плавно снижается, что свидетельствует о высокой точности регулирования.

По графику электромагнитного момента видно, что в процессе моделирования система адекватно реагирует на изменение нагрузки: в момент её приложения момент возрастает, при этом привод сохраняет устойчивость работы и продолжает поддерживать заданную скорость. Напряжение в звене постоянного тока в целом остается стабильным, а возникающие колебания не оказывают существенного влияния на работу электропривода.

Таким образом, результаты моделирования позволяют сделать вывод о том, что выбранная система векторного управления полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к современному асинхронному электроприводу, и обеспечивает точное, плавное и устойчивое управление двигателем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамбург К.С., Методические указания по оформлению домашних заданий, курсовых проектов и выпускной квалификационной работы для обучающихся всех направлений факультета АИТ (все формы обучения). Гамбург К.С., Старый Оскол, СТИ НИТУ МИСиС, 2025, - 45с., ил.

2. Общество с ограниченной ответственностью «Рудстрой» [Электронный ресурс]. https://www.metalloinvest.com/business/auxiliary/rudst/ (дата обращения: 11.01.2026).

3. Электродвигатель МТН 412-6С [Электронный ресурс] //Энергоснабкомплект: [Электронный ресурс]. – https://esbk.ru/products_info/ /elektrodvigatel_kranoviy_mtf_412-6.html (дата обращения: 16.03.2026).

4. Построение нагрузочной диаграммы электродвигателя [Электронный ресурс]. - https://elenergi.ru/uproshhennoe-postroenie-nagruzochnyx-diagramm-elektroprivodov.html (дата обращения: 15.03.2026);

5. Выбор частотного преобразователя [Электронный ресурс]. - https://www.td-electroprivod.ru/files/330/e4-8400-preobr_re.pdf (дата обращения: 18.03.2026);

ОТ КАКИХ ФАКТОРОВ ЗАВИСЯТ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ? В ЧЕМ ПРЕИМУЩЕСТВА ПЬЕЗОКЕРАМИКИ ПЕРЕД МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКАМИ?

Никулина Д.А., студент 1 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Мякотина М.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Пьезоэлектрический эффект, открытый более столетия назад, в настоящее время составляет основу функционирования широкого спектра современных устройств. Суть данного явления заключается в способности материала преобразовывать механическое воздействие, выраженное в сжатии или растяжении, в электрический заряд и обратно [1]. Без использования этого эффекта была бы невозможна эксплуатация аппаратов ультразвуковой диагностики, высокоточных датчиков давления, систем парковки автотранспорта и стандартных пьезоэлектрических зажигалок. Среди всех пьезоэлектрических материалов особое значение имеет сегнетоэлектрическая керамика (пьезокерамика). В отличие от природных кристаллов, таких как кварц, пьезокерамика представляет собой искусственный материал, синтезированный в лабораторных условиях. Она является сложной системой, состоящей из множества мельчайших зерен-кристаллов, спеченных друг с другом [3].

Ключевой проблемой современной физики материалов является непостоянство свойств данной керамики. Пьезоэлектрические свойства сегнетокерамики зависят от ряда технологических факторов, включая химический состав и условия спекания. Изучение этих зависимостей позволяет целенаправленно формировать свойства материала, адаптируя его для конкретных медицинских и промышленных применений [4]. Кроме того, в научном сообществе продолжается дискуссия относительно выбора между пьезокерамикой и монокристаллическими пьезоэлектриками. Несмотря на идеальную кристаллическую структуру последних, керамика сохраняет лидирующие позиции на рынке.

Данное исследование ставит целью провести всесторонний анализ факторов, детерминирующих эксплуатационные характеристики пьезокерамических материалов, а также обосновать преимущества их применения перед монокристаллическими материалами в контексте актуальных производственных задач.

Свойства сегнетоэлектрической керамики не являются врожденными; они формируются в ходе сложного технологического цикла. Выделяют четыре ключевых фактора, обеспечивающих превращение порошка в высокотехнологичный активный материал.

1. Химический состав и модифицирующие добавки. Основой большинства современных пьезоматериалов является система цирконат-титаната свинца (ЦТС). Ключевым аспектом является соотношение компонентов. Исследователи стремятся достичь так называемой морфотропной фазовой границы – оптимального соотношения титана и циркония, при котором кристаллическая структура материала достигает максимальной неустойчивости. В данном состоянии материал демонстрирует наиболее высокую чувствительность к внешнему давлению или электрическому полю, проявляя рекордные пьезоэлектрические свойства. Помимо базовых компонентов, в состав вводят микроколичества других элементов (лантана, ниобия, марганца). Данные добавки, именуемые модификаторами, определяют характеристики материала: они могут придавать керамике «мягкие» свойства (высокая поляризуемость, но быстрое старение) или «жесткие» (устойчивость к высоким нагрузкам, но требующие значительных усилий для активации) [5].

2. Микроструктура и размер зерен. Сегнетокерамика является поликристаллической структурой, состоящей из множества микроскопических зерен, что делает размер этих структур определяющим фактором. Излишне крупные зерна приводят к

возникновению внутренних механических напряжений, способных вызвать образование трещин. Чрезмерно мелкие зерна затрудняют процесс переключения доменов. Современные технологии позволяют получать мелкозернистую керамику с высокой плотностью и механической прочностью, что является критически важным для эксплуатации в мощных ультразвуковых излучателях [2].

3. Технология спекания. Процесс изготовления керамики аналогичен обжигу глиняной посуды, однако осуществляется при температурах, превышающих 1200 °C. Недостаточная температура приводит к образованию пористой структуры материала. Присутствие пор в структуре материала оказывает негативное влияние на пьезоэлектрические свойства, выступая как фактор демпфирования колебаний и снижая электрическую прочность. С другой стороны, перегрев в процессе термообработки приводит к нежелательному испарению свинца, нарушению стехиометрии и, как следствие, к утрате функциональности материала, превращая его в пассивный диэлектрик.

4. Процесс поляризации. Данный этап является завершающим и наиболее значимым. После термической обработки керамика еще не обладает пьезоэлектрическими свойствами, поскольку миллионы внутренних зарядов ориентированы в различных направлениях, взаимно компенсируя друг друга. Для активации материала его подвергают воздействию мощного электрического поля. Под действием этого поля все внутренние области (домены) выстраиваются в едином направлении. Степень упорядоченности этой структуры определяет интенсивность пьезоотклика готового изделия.

В области пьезоэлектрических материалов выделяются два основных класса: монокристаллы и пьезокерамика. Монокристалл представляет собой единую, идеальную кристаллическую решетку, лишенную дефектов и границ зерен. Пьезокерамика, напротив, является совокупностью множества зерен. Несмотря на теоретическое преимущество идеального кристалла, на практике пьезокерамика обладает рядом неоспоримых достоинств.

1. Технологическая доступность и стоимость производства. Выращивание идеального монокристалла представляет собой длительный, сложный и дорогостоящий процесс, длящийся по несколько недель. Даже незначительные колебания температуры в лабораторных условиях могут привести к браку всей партии. Вместе с тем, пьезокерамика производится с применением методов порошковой металлургии, что гарантирует возможность массового изготовления. Процесс, включающий подготовку шихты, прессование и спекание, занимает часы. Низкая себестоимость делает данные изделия доступными для широкого спектра применений – от потребительских товаров до сложных медицинских приборов [4].

2. Свобода геометрических форм и размеров. Обработка монокристаллов сопряжена с значительными трудностями. Попытка изготовить из хрупкого кристалла деталь сложной конфигурации (например, тонкостенную трубку, кольцо или вогнутую линзу) часто заканчивается его разрушением. Кроме того, размер монокристалла ограничен габаритами ростовой камеры. Пьезокерамика на стадии «сырого» порошка демонстрирует пластичность, аналогичную глине, что позволяет изготавливать детали практически любой формы и размера: от микроскопических игл для струйных принтеров до крупных пластин для гидроакустических систем подводных лодок. Это предоставляет инженерам полную свободу при проектировании устройств.

3. Возможность точной настройки свойств (легирование). Химическая структура монокристалла жестко определена природными факторами, и введение новых элементов без нарушения структуры затруднительно. В состав пьезокерамики, напротив, можно вводить различные добавки (легирующие элементы), что позволяет создавать специализированные семейства материалов для конкретных задач. Например, для ультразвуковой сварки требуется «жесткая» керамика с низким уровнем нагрева, а для высокочувствительных микрофонов необходима «мягкая» керамика, способная регистрировать минимальные колебания воздуха. Подобная гибкость настройки недоступна для большинства монокристаллов.

4. Механическая прочность и долговечность. Монокристаллы подвержены раскалыванию по определенным плоскостям (спайности). Благодаря зернистой структуре пьезокерамика демонстрирует значительно более высокое сопротивление вибрациям и ударным нагрузкам. Она обладает повышенной износостойкостью в условиях жесткой эксплуатации, например, в автомобильных двигателях или промышленном станочном оборудовании.

Таким образом, формирование пьезоэлектрических свойств сегнетокерамики представляет собой комплексный результат синергетического взаимодействия химического состава, микроструктурных характеристик и технологических параметров процесса изготовления. Несмотря на наличие высокоэффективных монокристаллов, пьезокерамика сохраняет статус ключевого материала современной микроэлектроники. Доступная стоимость, возможность изготовления деталей произвольной формы и гибкость настройки параметров делают этот материал незаменимым в условиях стремительного технологического прогресса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яффе, Б. Пьезоэлектрическая керамика / Б. Яффе, У. Кук, Г. Яффе ; пер. с англ. под ред. Л. А. Шувалова. – М. : Мир, 1974. – 288 с.
2. Окадзаки, К. Технология керамических диэлектриков / К. Окадзаки ; пер. с япон. под ред. С. И. Башкирова. – М. : Энергия, 1976. – 336 с.
3. Фесенко, Е. Г. Сегнетоэлектрическая керамика / Е. Г. Фесенко, А. Я. Данцигер, О. Н. Разумовская. – Ростов н/Д : Изд-во РГУ, 1983. – 156 с.
4. Панич, А. Е. Пьезоэлектрическая керамика: свойства и применение / А. Е. Панич. – Ростов н/Д : Изд-во РГУ, 2003. – 112 с.
5. Земляков, В. Л. Исследование влияния температуры на свойства пьезоматериалов / В. Л. Земляков, С. Н. Ключников. – Ростов н/Д : Изд-во Инженерный вестник Дона, 2016. – 10 с.
6. Жуков, Сергей О пьезокерамике и перспективах ее применения / Сергей Жуков. – Компоненты и технологии, 2001. – 4 с.

СОЗДАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОГО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ПЛАТФОРМЕННОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

Новиков Д.Э., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н.**,** доцент **Основина О.Н.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Эффективность реализации образовательных программ среднего профессионального образования (СПО) во многом определяется качеством организации учебного процесса и уровнем информационного обеспечения. Преподаватели, председатели предметно-цикловых комиссий (ПЦК) и администрация образовательного учреждения ежедневно сталкиваются с необходимостью обработки значительных объемов данных, связанных с обучающимися, дисциплинами, учебными материалами, занятиями и результатами обучения.

Существующая практика, основанная на использовании разрозненных информационных ресурсов, электронных таблиц и локальных документов, приводит к дублированию информации, увеличению временных затрат на обработку данных, а также повышает вероятность возникновения ошибок. Это снижает эффективность управления образовательным процессом и затрудняет контроль качества подготовки обучающихся.

Актуальность разработки интерактивного учебно-методического комплекса обусловлена необходимостью систематизации информационных потоков, автоматизации работы преподавателей и председателей ПЦК, а также создания единого структурированного хранилища данных, обеспечивающего целостность и актуальность информации.

В ходе анализа предметной области были выявлены и структурированы основные сущности, подлежащие хранению в базе данных. К ним относятся: обучающиеся, учебные программы, дисциплины, преподаватели, председатели ПЦК, занятия, учебные материалы, оценки, а также вспомогательные сущности, обеспечивающие связи между ними.

Схема данных, представленная на рисунке 1, отражает логическую модель базы данных интерактивного учебно-методического комплекса, реализованную в системе управления базами данных SQLite[1].

Она демонстрирует структуру хранения информации и взаимосвязи между ключевыми сущностями системы, обеспечивая целостность данных и поддержку основных бизнес-процессов образовательного учреждения.

Особое значение имеет организация связей между сущностями, позволяющая реализовать комплексный подход к управлению образовательной деятельностью. Например, связь между дисциплинами, преподавателями и учебными материалами обеспечивает целостное представление учебного процесса, а наличие сущностей, отражающих результаты обучения, позволяет проводить анализ успеваемости и эффективности образовательных программ.

Таким образом, разработанная модель базы данных [2] не только обеспечивает хранение и обработку информации, но и выступает инструментом поддержки принятия управленческих решений, что повышает качество организации учебного процесса и эффективность деятельности образовательного учреждения в целом.

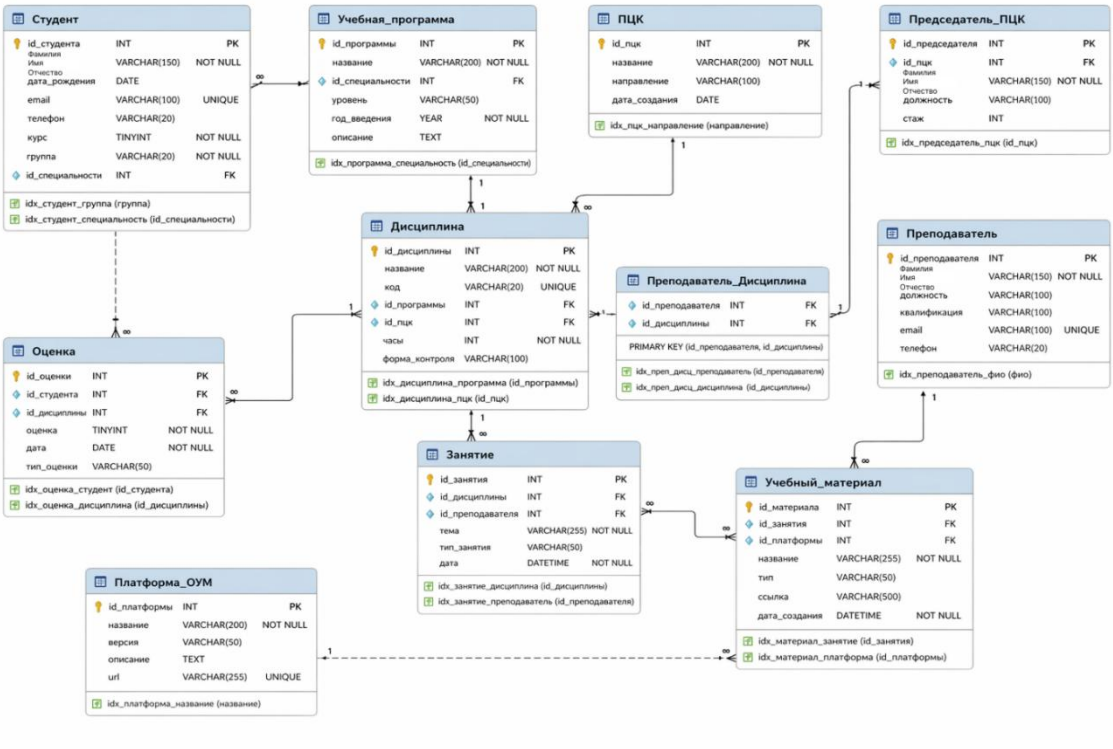


Рис. 1 – Схема данных

В разработанном интерактивном учебно-методическом комплексе предусмотрена реализация различного функционала для категорий пользователей, участвующих в образовательном процессе: преподавателей, председателей предметно-цикловых комиссий (ПЦК), администрации и обучающихся. Преподаватели осуществляют разработку и наполнение учебных дисциплин, проведение занятий и оценивание обучающихся. Председатели ПЦК выполняют функции координации и контроля качества учебно-методических материалов, а также анализируют эффективность реализации образовательных программ. Обучающиеся, в свою очередь, взаимодействуют с системой посредством прохождения курсов, изучения материалов и выполнения заданий.

Для обеспечения разграничения прав доступа и повышения эффективности управления образовательным процессом в системе реализована ролевая модель. Учитываются такие параметры, как принадлежность пользователя к определённой дисциплине, учебной группе или предметно-цикловой комиссии. Это позволяет ограничить доступ к данным и функциям системы в соответствии с должностными обязанностями и ролью пользователя.

Логика организации учебного процесса в системе строится на взаимосвязи между дисциплинами, занятиями и учебными материалами. Каждая дисциплина включает набор занятий, для которых задаются тема, тип и дата проведения. За проведением занятий закрепляется преподаватель. Учебные материалы могут быть привязаны как к отдельным занятиям, так и к дисциплине в целом. Один преподаватель может вести несколько дисциплин, а одна дисциплина может быть закреплена за несколькими преподавателями, что реализуется через связующую таблицу.

На рисунке 2 представлен интерфейс раздела «Каталог» интерактивного учебно-методического комплекса, предназначенного для просмотра и выбора доступных учебных курсов. Данный раздел является ключевым элементом взаимодействия обучающихся с системой и обеспечивает доступ к образовательным программам различной направленности.

В левой части интерфейса расположено вертикальное навигационное меню, включающее основные разделы системы: «Главная», «Каталог», «Профиль», «Достижения» и «Настройки». Это обеспечивает удобную навигацию и быстрый переход между функциональными модулями приложения.

В верхней части рабочей области размещена строка поиска, позволяющая пользователю находить курсы по названию или ключевым словам. Ниже представлена панель фильтрации по категориям, включающая направления подготовки, такие как «Математика», «Программирование», «Физика» и «Языки». Это позволяет пользователю быстро ориентироваться в доступных образовательных ресурсах.

Основная часть интерфейса содержит карточки учебных курсов, представленные в виде визуально структурированных блоков. Каждая карточка включает:

— название дисциплины;
— категорию и тематические теги;
— краткое описание курса;
— показатели популярности (рейтинг и количество обучающихся);
— количество учебных занятий;
— кнопку «Начать», предназначенную для перехода к изучению курса.

Представленная структура интерфейса реализует удобный механизм выбора дисциплин и обеспечивает наглядное представление образовательного контента. Обучающийся может изучать несколько курсов одновременно, при этом система фиксирует прогресс прохождения и результаты обучения, что соответствует логике организации образовательного процесса в рамках СПО.

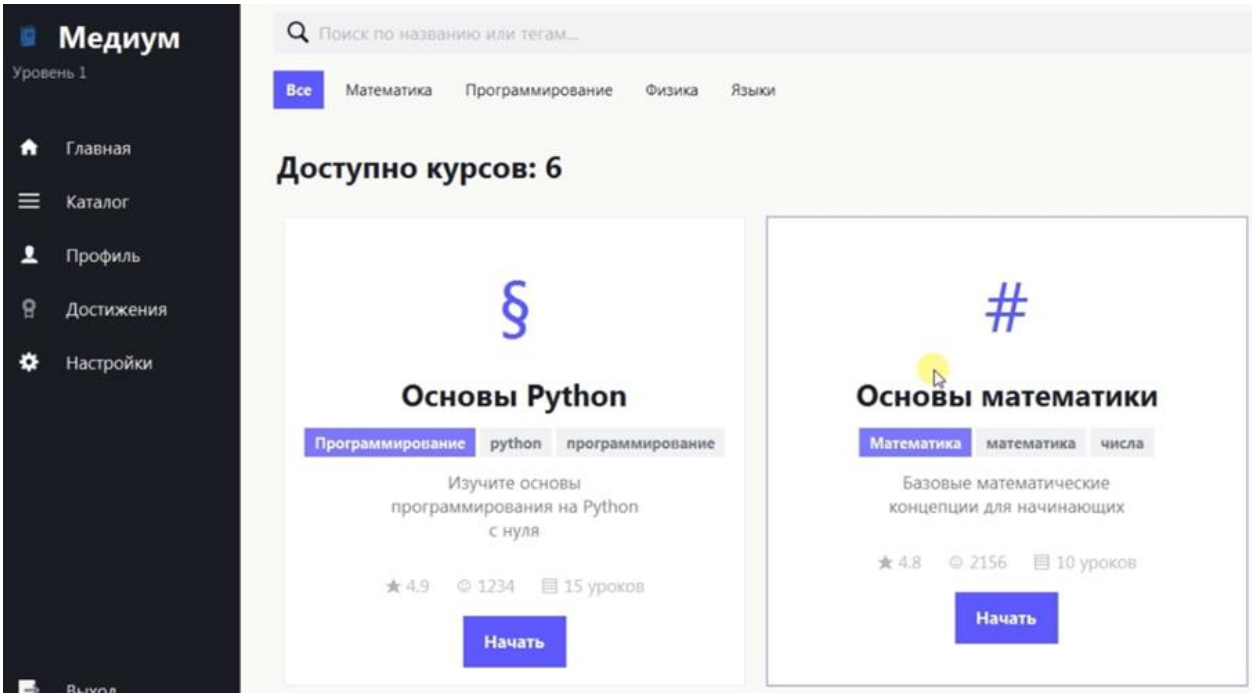


Рис. 2 – Модальное окно управления курсами

Эффективное функционирование интерактивного учебно-методического комплекса напрямую зависит от качества спроектированной логической модели данных. Взаимосвязи между такими сущностями, как «Студент», «Дисциплина», «Занятие», «Учебный материал» и «Оценка», обеспечивают возможность структурированного хранения информации и её последующей обработки в рамках образовательного процесса. Реализация данных связей позволяет системе формировать целостное представление о процессе обучения, отслеживать прогресс обучающихся и обеспечивать доступ к необходимым учебным ресурсам.

Практическая реализация этих связей наглядно отражается в пользовательском интерфейсе системы. На рисунке 3 представлен интерфейс страницы учебного курса, демонстрирующий структуру и последовательность изучения материала.

В верхней части интерфейса отображается название дисциплины «Основы Python», а также информация о текущем прогрессе прохождения курса. Ниже расположена

навигационная панель с вкладками «Уроки», «Материалы» и «Обсуждение», обеспечивающая доступ к различным аспектам образовательного процесса.

Основная область интерфейса [4] содержит список учебных занятий, представленных в виде последовательной структуры. Каждый элемент отражает отдельную тему курса, такую как «Введение в Python», «Переменные и типы», «Числа и операции». Визуальные индикаторы позволяют определить статус прохождения каждого занятия.

Данный интерфейс формируется на основе данных, хранящихся в базе данных: информация о дисциплине извлекается из таблицы «Дисциплина», список занятий — из таблицы «Занятие», а прогресс обучающегося определяется на основе связанных данных об успеваемости и активности.

Таким образом, представленный интерфейс иллюстрирует практическое применение разработанной даталогической модели, обеспечивая логичную структуру учебного процесса, последовательность освоения материала и удобство взаимодействия пользователя с системой.

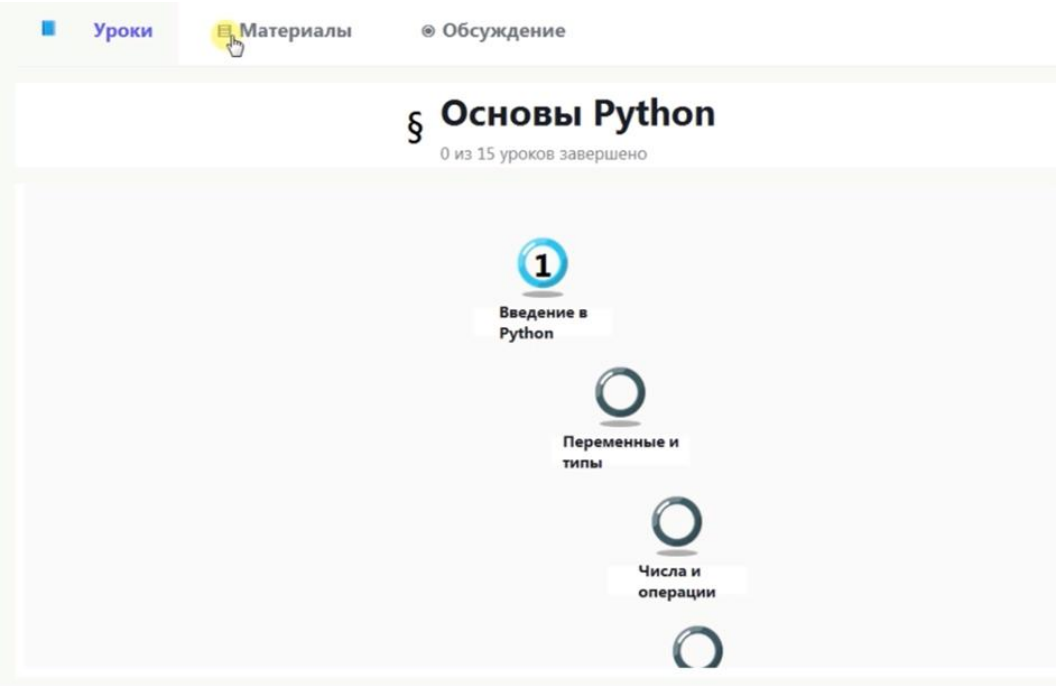


Рис. 3 – Модальное окно интерфейса страницы учебного курса

В ходе проведенного исследования была разработана модель интерактивного учебно-методического комплекса, ориентированного на автоматизацию образовательного процесса в учреждениях среднего профессионального образования. Реализация системы позволила структурировать основные информационные потоки, связанные с обучающимися, дисциплинами, учебными материалами и результатами обучения.

Разработанная даталогическая модель [3] базы данных обеспечивает целостность и согласованность информации, а также поддерживает основные процессы управления образовательной деятельностью. Применение ролевой модели доступа позволяет разграничить права пользователей и повысить уровень информационной безопасности системы.

Реализованный пользовательский интерфейс обеспечивает удобное взаимодействие с системой, упрощает процесс выбора дисциплин и освоения учебного материала, а также способствует повышению эффективности учебного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. SQLite Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sqlite.org/docs.html (дата обращения: 01.05.2026).

2. Кузнецов С.Д. Основы баз данных. – М.: Бином, 2019. – 512 с.
3. Date C.J. Введение в системы баз данных. – М.: Вильямс, 2018. – 1328 с.
4. Трофимов В.В. Информационные системы и технологии в образовании. – М.: Академия, 2020. – 368 с.
5. Соммервилл И. Инженерия программного обеспечения. – М.: Вильямс, 2019. – 848 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИМ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В МНОГОУРОВНЕВОМ ИНВЕРТОРЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТЫ ИМ. ГУБКИНА АО «КОМБИНАТ КМАРУДА»

Овчаров К.А., студент 2 курса магистратуры
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Молодых А.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В промышленности определенную часть электроприводов составляют высоковольтные, одним из примеров которых является привод вентиляторной установки ВЦД47-У главного проветривания шахты. Установка приводится в работу двумя двигателями АКН2-18У3 мощностью 1600 кВт, питающимися от сети 6 кВ [1]. Производительность шахтного вентилятора непостоянна: она зависит от объёма взрывных работ, числа людей, находящихся под землей, газовыделения и температуры воздуха на поверхности, которая меняется по сезонам. Это создаёт необходимость в регулировании скорости. При этом пуск вентилятора тяжёлый и длительный – в пределах нескольких минут, оборудование работает непрерывно, а в процессе торможения желательна рекуперация энергии в сеть. Традиционные частотные преобразователи в таких условиях малоэффективны. Оптимальное решение – многоуровневые преобразователи частоты: они формируют сигнал выходного напряжения, близкий к синусоиде, что снижает искажения тока и напряжения, обеспечивает плавный пуск и высокие энергетические показатели на стороне нагрузки и сети.

Существует несколько топологий многоуровневых инверторов, но в данном случае будут рассматриваться инверторы с фиксацией нейтральной точки – NPC. Данный тип инверторов использует последовательно соединённые силовые ключи и дополнительные фиксирующие диоды, которые выводят выходную фазу на среднюю точку шин постоянного напряжения. Благодаря этому каждый ключ оказывается под напряжением, равным половине полного напряжения звена постоянного тока, что позволяет применять низковольтные и высокочастотные полупроводниковые приборы. Увеличение числа уровней достигается добавлением дополнительных ступеней напряжения и соответствующих фиксирующих цепей.

Рассмотрим трёхуровневый NPC-инвертор, схема которого представлена на рисунке 1.

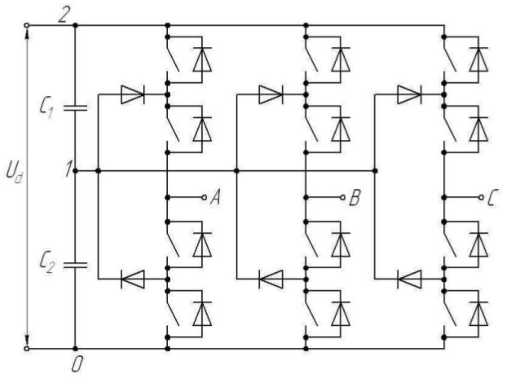


Рис. 1 – Схема трехуровневого NPC-инвертора

В основе представленной топологии лежит звено постоянного тока с двумя последовательными конденсаторами, образующими искусственную нейтральную точку. Каждая фаза содержит 4 силовых ключа – 2 внешних, 2 внутренних и 2 фиксирующих диода, подключённых к этой средней точке. Ключи работают попарно-симметрично, а фиксирующие диоды «привязывают» потенциал фазы к нейтрали, защищая закрытые внешние ключи от полного напряжения звена. Напряжение на фазе принимает 3 значения: $+U_{dc}/2$, 0, $-U_{dc}/2$.

Формирование ступенчатого напряжения происходит за счёт включения соответствующей пары ключей – верхних, нижних или внутренних. Трёхуровневая топология является базовой для семейства NPC. При переходе к пяти, семи и более уровням схема усложняется: добавляются дополнительные последовательные конденсаторы, ключи и фиксирующие диоды, а также усложняется система управления. Однако принцип остается тем же – фиксация промежуточных потенциалов к точкам делителя напряжения. Увеличение числа уровней позволяет выходному напряжению еще точнее приближаться к синусоиде, снижая гармонические искажения и улучшая энергетические показатели как двигателя, так и питающей сети.

Количественно увеличение числа уровней отражается на напряжении, приходящемся на каждый интервал. Принимаемое значение напряжения питания для каждой фазы рассчитывается по формуле:

$$\boxed{U_{яч} = \frac{U_{дв}}{k-1}}, \text{ В} \qquad (1)$$

где $U_{яч}$ – эквивалентное напряжение для одного интервала уровня инвертора, В;

$U_{дв}$ – необходимое линейное напряжение на двигателе, В;

k – количество уровней выходного напряжения.

В отличие от каскадного Н-моста, NPC-топология не требует изолированных источников питания для каждой ячейки – используется общее звено постоянного тока с искусственной нейтральной точкой. Это упрощает конструкцию преобразователя для средних и высоких напряжений, снижает габариты входного трансформатора [2].

Одним из широко известных методов формирования ШИМ для NPC-преобразователей является пространственно-векторная модуляция – SVPWM. Ее ключевая идея заключается в представлении трехфазного задающего напряжения единым вращающимся вектором в комплексной плоскости и аппроксимации его ближайшими доступными векторами состояния инвертора. Для многоуровневых систем этот метод позволяет оптимально выбирать векторы и их длительности, минимизируя переключения ключей и гармонические искажения выходного напряжения.

Следует отметить, что для управления рассматриваемой системой электропривода предлагается векторное управление, поскольку по сравнению со скалярным оно исключает провалы напряжения, не приводит к перегреву двигателя на низких оборотах и позволяет плавно изменять ток.

Необходимо учитывать тот факт, что при векторном управлении токи статора преобразуются во вращающуюся dq-систему координат, где в установившемся режиме они являются постоянными величинами. Это позволяет использовать классические ПИ-регуляторы, которые обеспечивают нулевую статическую ошибку. Однако их главный недостаток – зависимость от параметров объекта, что при их изменении может привести к ухудшению качества регулирования.

Нечеткая логика предлагает иной подход: регулятор строится не на жестких математических уравнениях, а на лингвистических правилах, что позволяет сохранять устойчивость и приемлемое качество при изменении параметров управляемого объекта в широких пределах. Настройка не требует идентификации сложной передаточной функции: достаточно задать диапазоны входов и интуитивно понятные правила.

Исходя из всего сказанного, предлагается реализовать варианты управления данной системой автоматизированного электропривода с регулированием ее параметров через нечеткий регулятор, двух-трех уровневый инвертор и сравнить показатели качества данных систем. Анализ применимости подобного подхода можно произвести посредством моделирования работы одного из двигателей вентиляторной установки при выходе на заданную скорость вращения под нагрузкой. Полная структурная схема, построенная в пакете MATLAB / Simulink для оценки качества предлагаемой приводной системы, изображена на рисунке 2.

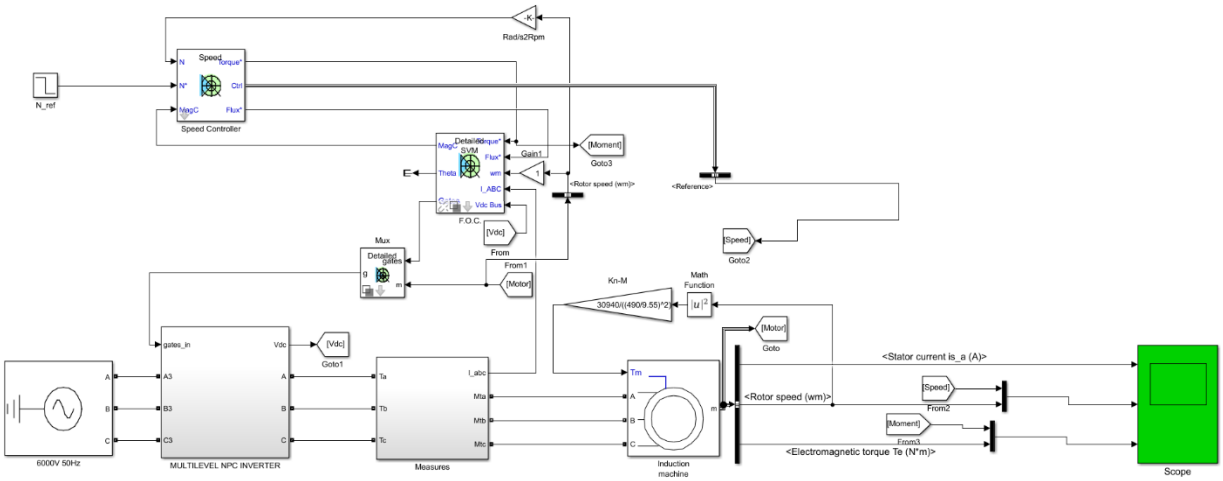


Рис. 2 – Система автоматизированного электропривода на основе нечеткой логики

Содержимое блока полеориентированного управления «F.O.C.» с применением нечетких регуляторов представлено на рисунке 3.

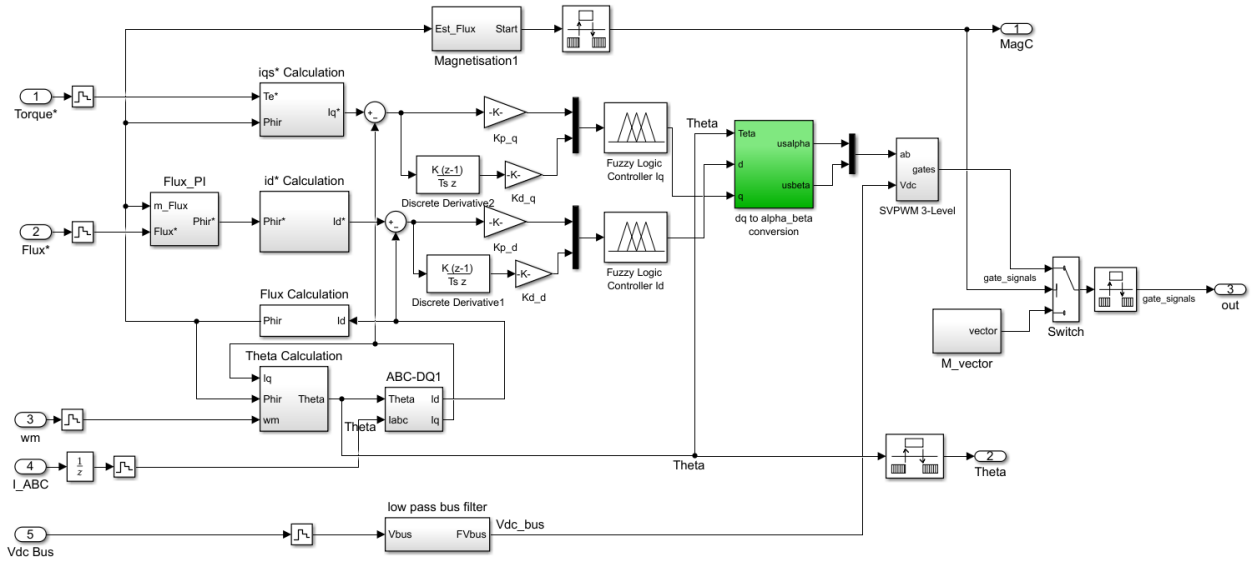


Рис. 3 – Содержимое блока «F.O.C.»

Также здесь представлен блок «SVPWM», реализующей алгоритм пространственно-векторной ШИМ, суть которого сводится к следующему. Алгоритм многоуровневого SVPWM преобразует заданные амплитуду и частоту опорного вектора напряжения в сигналы управления силовыми ключами N-уровневого инвертора. На вход поступают угловая частота и амплитуда опорного вектора. Частота интегрируется для получения текущего значения угла поворота, после чего вектор формируется в комплексной плоскости. Далее определяется номер сектора от 1 до 6, вектор поворачивается в первый сектор, вычисляется индекс модуляции и нормируется опорный вектор. Затем в 60-градусной системе координат определяются четыре ближайших вектора состояний, соответствующих уровням инвертора, и выбирается верхний или нижний треугольник, внутри которого лежит конец вектора. Рассчитываются относительные скважности для четырёх векторов в периоде ШИМ.

Накоплением скважностей по каждому из N уровней формируется матрица состояний фаз. Последовательным суммированием сверху вниз эта матрица преобразуется в скважности для каждого ключа, где верхние ключи отвечают за прямую сумму, а нижние за инверсную. Наконец, скважности сравниваются с треугольным несущим сигналом, формируя логические уровни управления ключами инвертора [3].

Настройка нечеткого регулятора блока управления проекцией тока статора на ось *d* приведена на рисунке 4, где можно видеть функции принадлежности входных и выходных переменных, а также правила [4]. Настройки для блока управления проекцией тока на ось *q* выглядят аналогично.

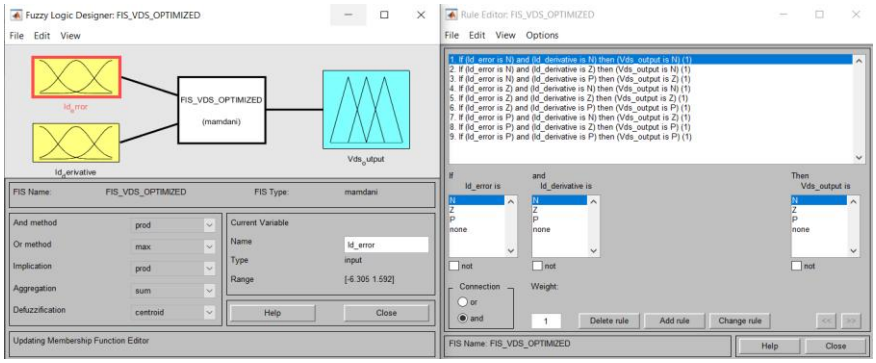


Рис.4 – Настройка блока нечеткой логики токового регулятора по оси *d*

При реализации серии экспериментов с моделью, где изменялись параметры регуляторов и количество уровней инвертора, был проведен частотный анализ выходного напряжения, результаты которого изображены на рисунке 5. Приведены: результат варианта с ПИ-регулятором и двухуровневым инвертором, затем с нечетким регулятором и двухуровневым инвертором, а также с нечетким регулятором и трехуровневым инвертором.

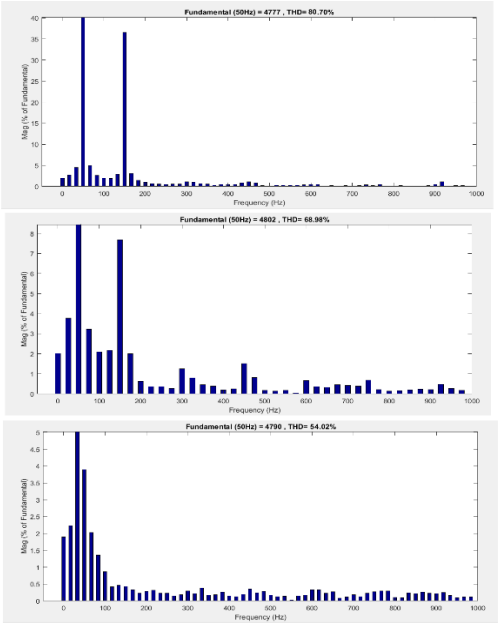


Рис. 5 – Окна частотного анализа выходного напряжения при: двухуровневом инверторе с ПИ-регулятором; с нечетким регулятором; трехуровневом инверторе с нечетким регулятором

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что выходное напряжение при применении обычного двухуровневого инвертора является значительно искаженным при

наличии ПИ-регулятора в блоке векторного управления по сравнению с нечетким регулятором, а при увеличении количества уровней в инверторе происходит улучшение по показателям качества напряжения и тока. Следовательно, применение многоуровневого инвертора в совокупности с нечетким регулятором является наиболее подходящим для рассматриваемого электропривода. На рисунке 6 приведены результаты моделирования подобного инвертора при выходе на заданную скорость под нагрузкой.

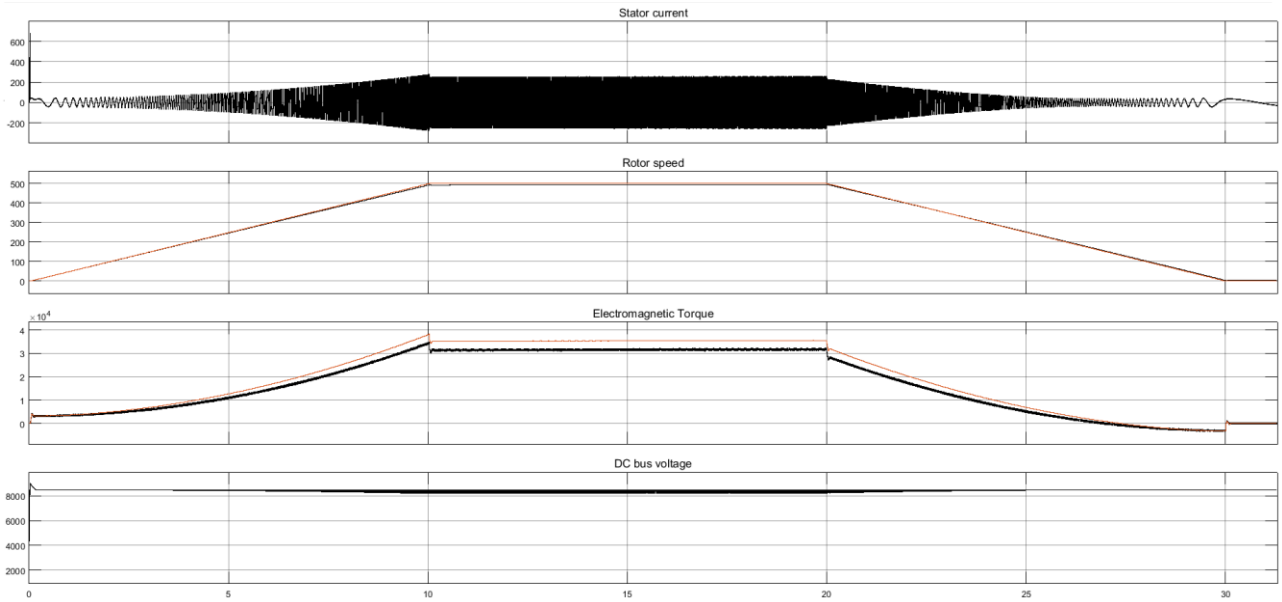


Рис. 6 – Графики тока статора, скорости ротора и момента двигателя

При выходе на заданную скорость перерегулирование составляет менее 5 %, а статическая ошибка при выходе на задание – менее 1 %. Величины тока статора и момента на рассматриваемом промежутке не превышают номинальных значений.

Таким образом, можно сказать, что при увеличении числа уровней уменьшается искаженность выходного напряжения инвертора; особенно это выражено при применении нечетких регуляторов. Вдобавок, следует отметить, что при применении данного вида модуляции и системы управления АЭП на основе нечеткой логики параметры переходного процесса находятся в пределах нормы, а значит, система электропривода соответствует предъявляемым к ней требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вентиляторы ВЦД-47У. [Электронный ресурс] – URL: https://ksis24.ru/equipment/ventilyatory-tsentrobezhnye-shakhtnye-glavnogo-provetrivaniya-vts-i-vtsd/ventilyator-vtsd-47u/ (Дата обращения: 24.03.2026)

2. Макаров В.Г., Хайбрахманов Р.Н. Многоуровневые инверторы напряжения. Обзор топологий и применение // Вестник Казанского технологического университета. 2016. №22. С. 134—138 [Электронный ресурс] – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/mnogourovnevye-invertory-napryazheniya-obzor-topologiy-i-primenenie (Дата обращения: 26.03.2026)

3. Inverters and AC Drives: Control, Modeling, and Simulation Using Simulink (Power Systems), 2024. – 721 p.

4. Bimal K. Bose. Modern Power Electronics and AC Drives. Prentice Hall PTR, 2002. – 711 p.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП ДРОБИЛКИ МЕЛКОГО ДРОБЛЕНИЯ КМД 3000Т АО «СГОК»

Орлов М.А., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент, **Полещенко Д.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Горнодобывающая промышленность представляет собой не просто отрасль экономики, а фундаментальный технологический сектор, во многом определяющий ресурсный суверенитет государства и его конкурентоспособность в международной экономике.

Горный сектор является единственным источником первичного минерального сырья для всех ключевых отраслей. Металлургические руды и угли, добываемые на территории КМА, Кузбасса или Донбасса, наряду с неметаллическим сырьем (калийные соли, фосфаты, флюсы, щебень и т.д.), составляют большую часть ресурсной базы государства, на ряду с углеводородами. Технически, без стабильных и оптимизированных по себестоимости потоков этого сырья невозможна эффективная работа последующих переделов: металлургии, химической промышленности, строительной отрасли или машиностроения. Исходя из этого, можно заметить, что горный сектор является одним из важнейших секторов промышленности государства.

Основной целью данной статьи является разработка математической модели для дробилки мелкого дробления КМД-3000Т.

Рассмотрим математическую модель стабилизации загрузки бункера питания дробилки. Приведем функциональную схему контура стабилизации (рис.1).

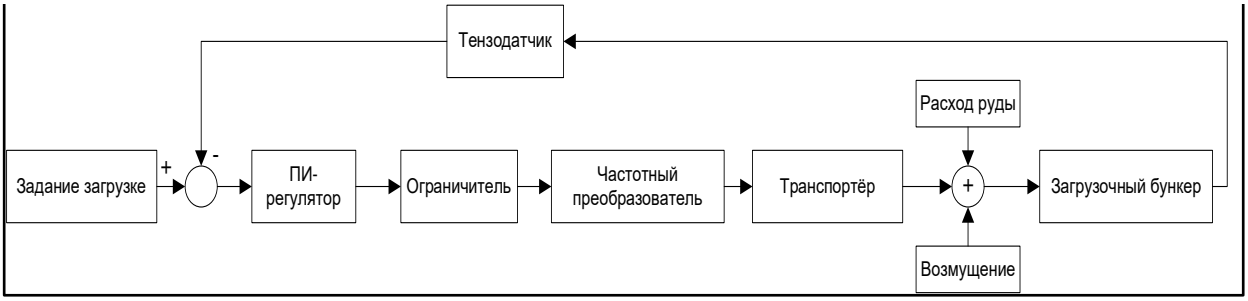


Рис. 1 – Функциональная схема контура стабилизации уровня

Объектом управления в контуре является загрузочный бункер, для построения его математической модели необходимо конкретизировать принцип его работы. Известно, что ОУ используется питания дробилки, в номинальном работе не быстрее чем 12,5 тонн руды в минуту. В загрузочный бункер руда поступает по транспортеру, скорость подачи руды по которому варьируется частотным преобразователем, который в свою очередь регулирует скорость вращения привода транспортера. Известно, что максимальный массовый расход руды, подаваемый через транспортер в загрузочный бункер, составляет 20 т/мин. Таким образом, входным сигналом ОУ будет массовый расход транспортера, а выходным – масса материала в бункере.

Выполним моделирование ОУ, рассмотрев его внутреннюю инерцию. Подача 1 тонны руды с транспортера в ОУ увеличит его массу на 1 тонну мгновенно, таким образом, для описания объекта используем идеальное интегральное звено. Рассмотрим следующее интегральное уравнение:

$$\boxed{y(t) = k \cdot \int_0^t x(\tau)d\tau + y(0)}, \qquad (1)$$

где $y(t)$ – это выходной сигнал в момент времени t, $x(t)$ – входной сигнал; k – это коэффициент передачи интегрального звена, $y(0)$ – это начальное значение выходной величины; τ – переменная интегрирования. Выполним переход к форме интегрального звена, выполнив дифференцирование уравнения (2):

$$\boxed{\frac{\partial y(t)}{\partial t} = k \cdot x(t)} \tag{2}$$

Применим преобразование Лапласа при нулевых начальных условиях получим, что передаточная функция ОУ будет иметь вид отношения (3):

$$\boxed{W_{ОУ}(s) = k\frac{1}{s}}, \tag{3}$$

где s – это оператор Лапласа. Коэффициент ОУ определим из следующего балансного уравнения:

$$\boxed{1\frac{\text{т}}{\text{мин}} \cdot k = 1\text{т}} \tag{4}$$

Таким образом, коэффициент усиления ОУ будет равен 1, а математическая модель будет иметь следующий вид:

$$\boxed{W_{ОУ}(s) = \frac{1}{s}}$$

Исполнительным механизмом в данном контуре выступает транспортер, электропривод которого находится под частотным регулированием скорости вращения вала. Изменяя скорость вращения вала – изменяется массовый расход питателя. Таким образом входом ИМ будет сигнал управления от регулятора (%), а выходом массовый расход (т/мин). Рассмотрим математическую модель ИМ в первом приближении. Изменение массового расхода опишем следующим уравнением:

$$\boxed{Q(t) = \rho \cdot A \cdot v(t)}, \tag{5}$$

где $Q(t)$ – это массовый расход транспортера в момент времени t, кг/с; ρ – насыпная плотность материала, кг/м^3; A – это площадь поперечного сечения слоя материала на транспортере, м2; $v(t)$ – скорость ленты транспортера, м/с. Примем площадь постоянной, что позволит упростить формулу (6) до вида формулы с эмпирическим коэффициентом:

$$\boxed{Q(t) = k_Q \cdot v(t)} \tag{6}$$

Известно, что изменение частоты двигателя ($f(t)$) приводит к изменению угловой скорости вала двигателя, затем через редуктор к изменению скорости движения ленты, что влияет на расход материала. Пренебрежем упругостью механических звеньев и опишем динамику следующим образом:

$$\boxed{J\frac{\partial \omega(t)}{\partial t} = M_{Э.М} - M_{Нагр.} - M_{Потерь}}, \tag{7}$$

где J – суммарный момент инерции, приведенный к валу двигателя транспортера; $M_{Э.М}$ – это электромагнитный момент двигателя; $M_{Нагр.}$ – это момент от нагрузки; $M_{Потерь}$ – это момент потерь на трение и т.п. Выразим динамику изменения скорости в момент времени t из (8), и полученное отношение в правой части заменим на некоторый коэффициент k_ω:

$$\boxed{\frac{\partial \omega(t)}{\partial t} = k_\omega} \tag{8}$$

Пусть частота в момент времени t связана со скоростью двигателя через инерционность электромеханической системы, тогда мы можем записать следующее дифференциальное уравнение:

$$\boxed{T_m \frac{\partial \omega(t)}{\partial t} + \omega(t) = k_\omega \cdot f(t)}, \quad (9)$$

где T_m – это электромеханическая постоянная времени привода. Предположим, что линейная скорость ленты выражается следующим образом:

$$\boxed{v(t) = k_g \cdot \omega(t)}, \quad (10)$$

где kg – это передаточное отношение. Опираясь на (17) можно представить формулу (11) в следующем виде:

$$\boxed{Q(t) = k_Q \cdot k_g \cdot \omega(t)} \quad (11)$$

В первом приближении определим произведение k_Q и k_g, как некоторый общий коэффициент K и выразим (11) относительно скорости $\omega(t)$. Полученный результат подставим в (9) и вынесем K вправо. В результате получим следующую модель ИМ:

$$\boxed{T_m \frac{\partial Q(t)}{\partial t} + Q(t) = K_f \cdot f(t)}, \quad (12)$$

где $K_f = K \cdot k_\omega$ – это коэффициент передачи «частота – расход», приведенный к т/мин. Заметим, что модель (12) – это апериодическое звено первого порядка.

Для определения коэффициент K_f воспользуемся следующим отношением:

$$\boxed{K_f = \frac{Q_P}{f_{\max}}}, \quad (13)$$

где Q_P – это массовый расход при максимальной скорости транспортера, $f_{\max}$ – это максимальная частота питающего напряжения. Постоянную времени ИМ определим на основе данных с действующего технологического агрегата. В результате, математическая модель транспортера будет иметь следующий вид:

$$\boxed{W_{TP}(s) = \frac{0.4}{1.5s + 1}}$$

Математическая модель частотного преобразователя базируется на следующем предположении, что входным сигналом его является сигнал управления от 0 до 100%, получаемый с регулятора, а выходным – частота питающего напряжения в интервале от 0 до 50 Гц. Отсюда найдем линейную связь выхода ПЧ от входа по следующей формуле:

$$\boxed{f_{упр.вых} = f_{\min} + \frac{\mathrm{I}_{вх} - \mathrm{I}_{\min}}{\mathrm{I}_{\max} - \mathrm{I}_{\min}} \cdot \left(f_{\max} - f_{\min} \right)}, \quad (14)$$

где $f_{упр.вых}$ – это управляемая выходная частота ПЧ, Гц; $f_{\min}$ и $f_{\max}$ – это, соответственно, минимальная и максимальная рабочая частота выходного напряжения, Гц; $I_{вх}(t)$ – это величина входного сигнала управления по току, мА; $I_{\min}$, $I_{\max}$ – это крайние значения интервалов токового сигнала управления, мА;

Частотный преобразователь не изменяет частоту мгновенно, для этого требуется время обработать сигнал, а также учесть допустимую скорость нарастания частоты для защиты от резких изменений нагрузки и возникновений чрезмерных токов, наконец нужно учитывать программную инерцию ПЧ. Все это позволяет рассмотреть преобразователь частоты как апериодическое звено первого порядка, обладающее следующей динамикой:

$$\boxed{T_{ПЧ} \cdot \frac{\partial f_{вых}}{\partial t} + f_{вых} = f_{упр.вых}}, \quad (15)$$

где $T_{ПЧ}$ – это постоянная времени частотного преобразователя, u(t) – это сигнал управления от регулятора (4-20 мА).

Подставим формулу (14) в (15), предполагая диапазон выходной частоты 0 – 50 Гц. В результате получим следующую математическую модель ПЧ:

$$\boxed{T_{ПЧ} \cdot \frac{\partial f_{вых}}{\partial t} + f_{вых} = \frac{\left(\mathrm{I}_{вх} - \mathrm{I}_{\min}\right) \cdot f_{\max}}{\mathrm{I}_{\max} - \mathrm{I}_{\min}}} \tag{16}$$

Рассмотрим (16) в стационарный момент времени, где $\partial f_{вых}/\partial t = 0$:

$$\boxed{\begin{aligned} & f_{вых} = \frac{\left(\mathrm{I}_{вх} - \mathrm{I}_{\min}\right) \cdot f_{\max}}{\mathrm{I}_{\max} - \mathrm{I}_{\min}} \Leftrightarrow \frac{f_{вых}}{\left(\mathrm{I}_{вх} - \mathrm{I}_{\min}\right)} = \left.\frac{f_{\max}}{\mathrm{I}_{\max} - \mathrm{I}_{\min}}\right|_{\frac{f_{\max}}{\mathrm{I}_{\max} - \mathrm{I}_{\min}} = K_{ПЧ}} \Leftrightarrow \\ & \Leftrightarrow f_{вых} = K_{ПЧ} \cdot \left(\mathrm{I}_{вх} - \mathrm{I}_{\min}\right) \end{aligned}} \tag{17}$$

Из формулы (17) определим конечную модель частотного преобразователя:

$$\boxed{T_{ПЧ} \cdot \frac{\partial f_{вых}}{\partial t} + f_{вых} = K_{ПЧ} \cdot \left(\mathrm{I}_{вх} - \mathrm{I}_{\min}\right)} \tag{18}$$

Определив вычислив коэффициент усиления и постоянную времени, получим следующее апериодическое звено первого порядка:

$$\boxed{W_{ПЧ}(s) = \frac{2.5}{0.01s + 1}}$$

Для описания тензодатчика воспользуемся следующим апериодическом звеном:

$$\boxed{W_{ТД}(s) = \frac{1}{0.1s + 1}}$$

На основе приведенной выше математической модели объекта управления и исполнительного механизма была получена структурная схема САР наполненностью бункера в программной симуляции MATLAB (рис.2).

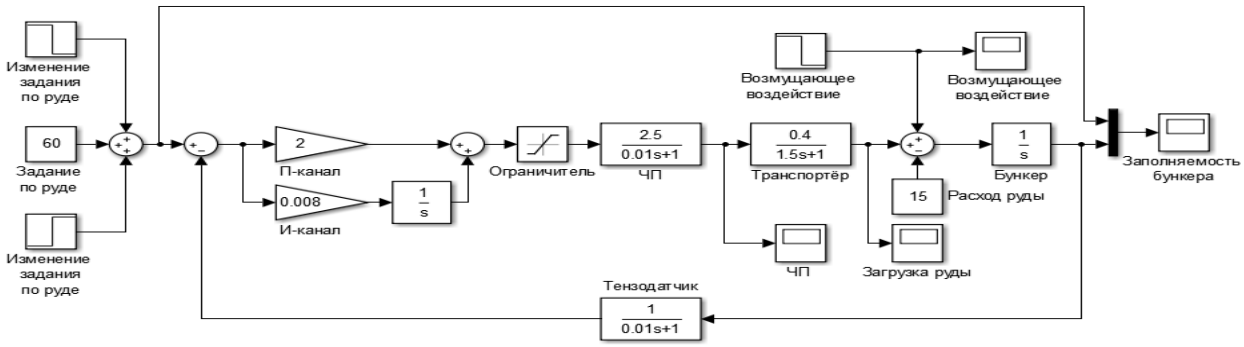


Рис. 2 – Полученная структурная схема САР стабилизации загрузки бункера

На рисунке 3 приведен график переходного процесса по заполняемости бункера, а на рисунке 4 график изменения массового расхода транспортера.

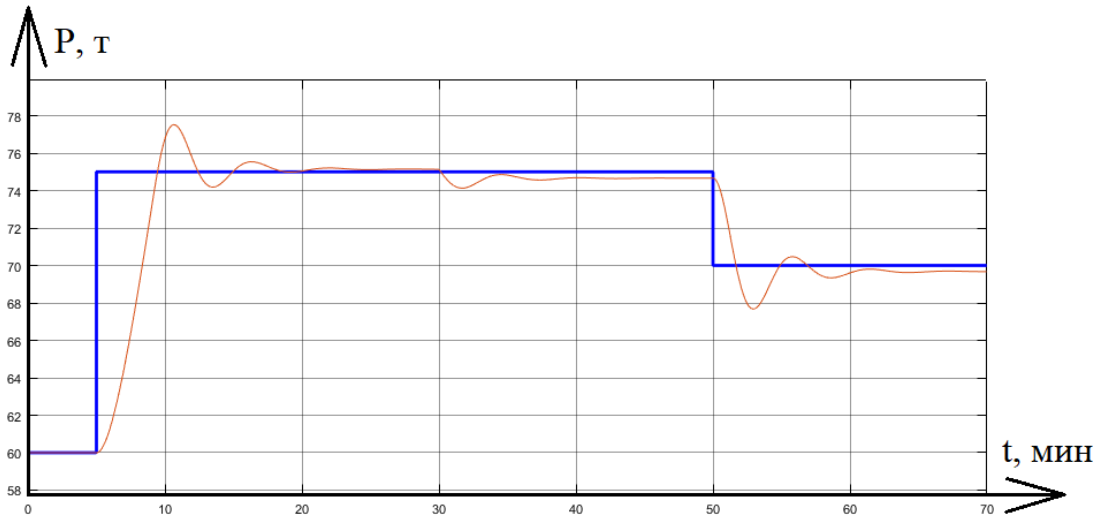


Рис. 3 – График заполняемости бункера

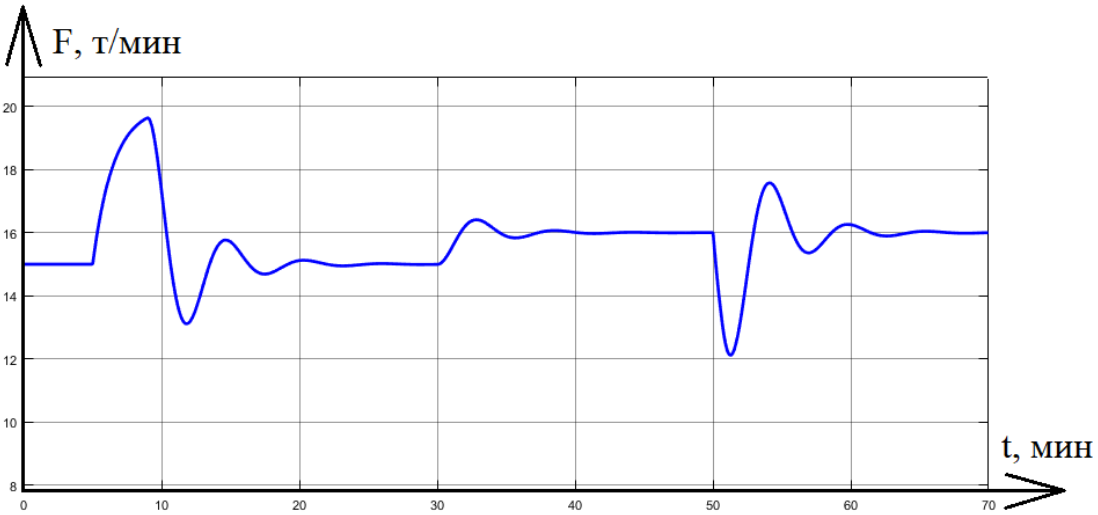


Рис. 4 – График изменения массового расхода

На основе полученных графиков были определены оптимальные значения коэффициента регулятора: П-канал – 2, И-канал – 0.008, с учетом временных ограничений реального процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марюта А.Н. Контроль качества железорудного сырья. - Киев: Техника, 1986-220С.

2. ТихоновО.Н. Автоматизация производственных процессов на обогатительных фабриках. - М.: «Недра», 1985-272 С.

3. Утеуш Э.В. Способ автоматического регулирования процессов дробления в конусных дробилках. Авт.свид. № 146615.- «Бюл. изобрет.», 1962, №8

4. Кошарский Б.Д., Ситковский А.Я., Рабинович Г.А. и др. Автоматизация управления обогатительными фабриками. Изд.2., перераб. и доп. М. : «Недра», 1980-257С.

5. Парамонов Ф.И. Рационализация аппарата управления предприятиями.- М.: Экономика, 1989-238 С.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АЭП СТАНЦИИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ МНОГОЭТАЖНОГО ДОМА Г. ВОРОНЕЖ

Орчиков А.Р., студент 4 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Моторина Н.П.**
Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Рассматривается автоматизированный электропривод (АЭП) системы пожаротушения жилого многоэтажного дома в городе Воронеж. В проекте предусмотрено выполнить: выбор насоса, двигателя (АД), шкафа управления частотного преобразователя (ПЧ); расчет параметров схемы замещения двигателя и построение модели прямого пуска; выбор системы управления и принципа управления системы ПЧ-АД; настройка модели электропривода и построение графиков переходных процессов ЭП и анализ полученных результатов[1, 2].

В Воронеже активно развивается строительство современных многоквартирных домов, особенно в жилых комплексах (ЖК). В ЖК «Навигатор» строится 27-этажный монолитно-кирпичный дом на 790 квартир, относящийся к комфорт - классу жилья. Технология строительства обеспечивает хорошую тепло- и звукоизоляцию, прочность и долговечность конструкций. В проектах активно используются «умные» технологии (управление освещением, системы защиты от протечек и т. д.), а также уделяется внимание благоустройству территорий — создаются детские и спортивные площадки, зоны для отдыха, зелёные насаждения. Многие ЖК включают коммерческие помещения на первых этажах, что повышает удобство для жителей. Жилой дом обеспечивается водой для нужд проживающих, однако есть требования создания напоров в системе внутреннего пожаротушения жилого дома и парковки с целью обеспечения необходимых расходов воды, проектом предусмотрено устройство в подвале жилого дома встроенных насосных станций пожаротушения[1, 2].

Для нужд внутреннего пожаротушения жилого дома ЖК с учетом существующих ограничений выбор оборудования основан на доступных видах и комплектующих, сохраняющих требуемые эксплуатационные характеристики. Главным показателем эффективности электроприводов считается энергетическая эффективность – она отражает, насколько рационально устройство расходует электроэнергию в процессе работы. Установка должна отвечать требованиям пожарной безопасности в жилых зданиях и обеспечивать достаточную экономичность эксплуатации.

На основании данных о напоре и производительности насосной станции подобран вертикальный центробежный насос фирмы Lubi модель LCR 45/4. Насосы серии LCR - вертикальные многоступенчатые центробежные агрегаты со стандартным электродвигателем и нормальным всасыванием. Они обеспечивают высокий напор и эффективность при перекачивании жидкостей, что делает их востребованными в системах водоснабжения, промышленности и HVAC-оборудовании (отопление, вентиляция, кондиционирование). Эти насосы активно используются в сфере водоснабжения и в системах пожаротушения, где важна подача воды под давлением[1, 2].

Общий вид проектируемой насосной станции представлен на рисунке 1.

Технические характеристики центробежного насоса Lubi LCR45/4 гидравлической и электрической части представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Технические характеристики (гидравлические) насоса Lubi LCR45/4.

Наименование параметра	Значение
Гидравлический КПД, %	79
Напор, м	86
Производительность, $м^3/ч$	40

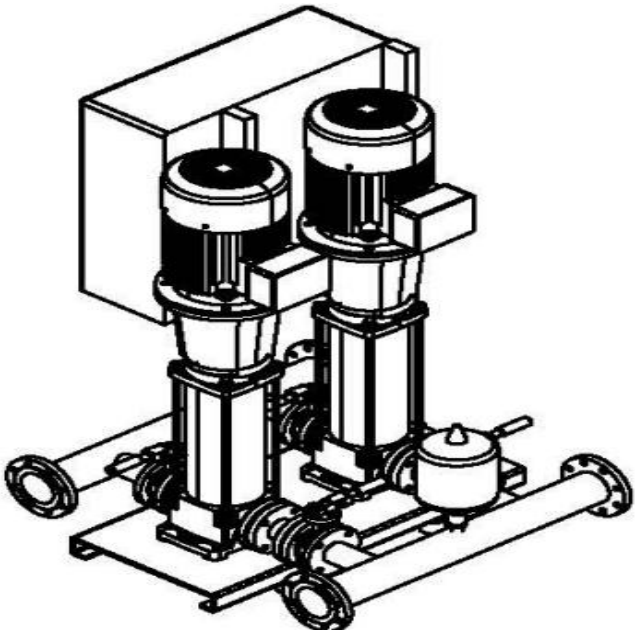


Рис. 1 – Общий вид насосной станции на вертикальных центробежных насосах Lubi LCR 45/4

Таблица 2 – Технические характеристики электродвигателя насоса Lubi LCR45/4

Наименование параметра	Значение
Номинальная мощность, кВт	15
Частоты вращения, об/мин	2900
Напряжение питания, В	380
Частоты сети, Гц	50
КПД, %	90,3
cos φ	0,92
$M_К/M_Н$	2,8
$M_П/M_Н$	2,1
$I_П/I_Н$	7,2
Момент инерции, кг·м^2	0,035
Степень защиты	IP55
Режим работы	S1
Класс изоляции	F

На рисунках 2 и 3 приведены рабочие характеристики (зависимости напора, КПД и подачи от расхода насоса).

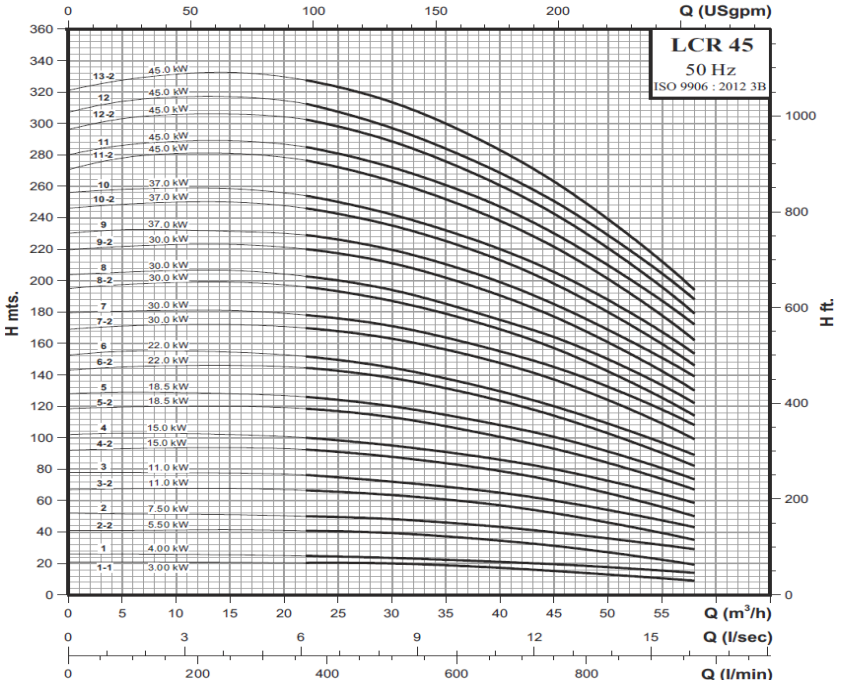


Рис. 2 – Рабочие характеристики насоса LubiLCR45/4 H=f(Q)

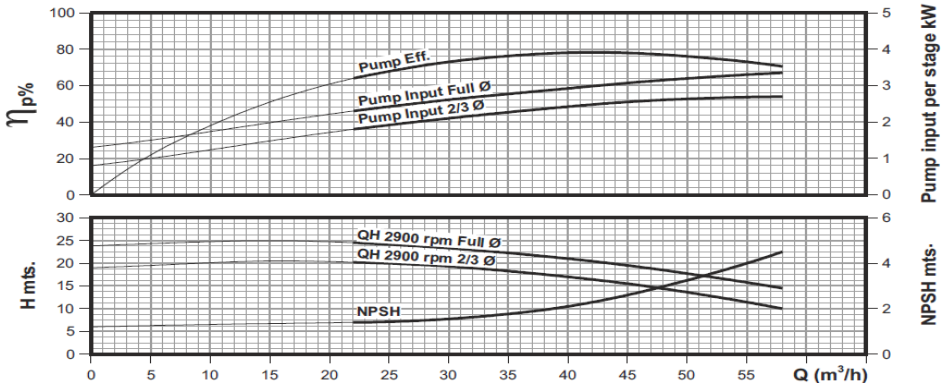


Рис. 3- Рабочие характеристики насоса η=f(Q), H=f(Q)

Выполнен расчет параметров схемы замещения выбранного двигателя и составлена модель прямого пуска двигателя для проверки адекватности модели и расчетов. В дальнейшем параметры двигателя используются при составлении следующей модели электропривода ПЧ-АДК[4, 5].

Проектируемая система пожаротушения здания жилого дома в основе имеет центробежные насосы, управление которыми осуществляется автоматизированной системой для достижения максимальных производительности и энергетической эффективности. Система автоматизированного управления обеспечит регулирование рабочих параметров и надежное функционирование всей инфраструктуры в соответствии с требованиями стандартов пожарной безопасности. В насосной станции планируется установить шкаф управления (ШУ), в состав которого входит частотный преобразователь, индивидуально работающий с каждым насосом (основным и резервным)[1-3].

Организовано электроснабжение объекта I категории надёжности. В помещении насосной предусматривается вводно-распределительное устройство (ВРУ) 380 В, 50 Гц. В состав оборудования включаются пускозащитная аппаратура (выбирается по номинальным и пусковым токам, мощности), устройство защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) (выбирается на основе требований к помехоустойчивости оборудования, чтобы нейтрализовать скачки напряжения, вызванные грозовыми разрядами или коммутационными процессами). Для оперативного контроля состояния электрооборудования внедряется система

телеметрии на базе цифрового интерфейса RS-485 с протоколом Modbus RTU. В автоматизированную систему управления электроснабжением (АСУ Э) передаются следующие данные:

- статус вводного автоматического выключателя (включён / отключён / аварийно отключён);
- наличие напряжения на шине распределительного щита;
- обобщённые сигналы о положении выключателей отходящих линий (включён / отключён / аварийно отключён).

Насосная станция комплектуется полным набором контрольно-измерительных приборов (КИП), что позволяет организовать ее эксплуатацию в режиме минимальной необходимости присутствия персонала. Ключевым элементом интеграции всех измерительных и управляющих функций выступает локальная станция управления (ЛСУ), которая поставляется в составе основного оборудования. Система непрерывно отслеживает следующие параметры:

- давление в трубопроводах;
- уровень жидкости в резервуарах и ёмкостях;
- температуру рабочих сред и окружающего воздуха;
- расход перекачиваемой жидкости;
- предельные значения уровня (с помощью сигнализаторов, формирующих аварийные оповещения при выходе за допустимые границы)[1-3].

Использование системы ПЧ-АД позволит существенно поднять эксплуатационную надежность, оптимизировать рабочие процессы, гарантировать бесперебойную работу. В рамках проектирования новой системы управления принято решение использовать два преобразователя частоты. Выбор ПЧ происходит по параметрам двигателя: напряжению, мощности и току. Выбирается преобразователь частоты Элком ESQ-760-4T0110G/0150P 11/15кВт. Управление двигателем осуществляется по квадратичному скалярному закону, характерному для насосов, требующих регулирования давления, $U/f^2=const$. Составлена модель асинхронного ЭП с реализацией скалярного метода управления и технологии пространственно-векторной широтно-импульсной модуляцией. Структура модели включает в себя блок формирования закона управления, модуль пространственно-векторной модуляции, трехфазный диодный выпрямитель, фильтрующий (сглаживающий) конденсатор, трехфазный инвертор, а также сам асинхронный двигатель[1, 2, 4].

На основании проведенных расчетов была выполнена имитационная модель системы в среде MATLAB / Simulink. В процессе моделирования электродвигатель насоса постепенно выходит на номинальный режим работы при номинальной частоте вращения ротора 2900 об/мин; работает стабильно заданное время, после чего начинает плавное замедление и останавливается за указанное время торможения. В результате моделирования получены графики, отображающие изменение тока статора, скорость вращения ротора и электромагнитный момент на валу двигателя. Анализ графиков показал: ток при запуске не превышает значения, определяемые перегрузочной способностью ПЧ; ток номинального режима соответствует паспортным данным двигателя; график скорости ротора показал точное соответствие расчетных и моделируемых значений; двигатель не достигает критического значения момента, что исключает возможность его «опрокидывания»; в рабочем режиме при отсутствии колебаний и динамических нагрузок, момент остается стабильным и соответствует паспортным характеристикам[4].

Выводы. По результатам полученных моделей был выполнен анализ графиков переходных процессов в системе ПЧ –АД:

- все полученные графики подтверждают корректность расчетов и модели;
- использование преобразователя частоты и скалярного закона управления электродвигателем дало системе плавный пуск без ударных токов и плавный разгон без скачков скорости.

Результаты моделирования подтвердили, что разработанная система электропривода полностью удовлетворяет предъявляемым требованиям к приводу насосной установки пожаротушения жилого дома в жилом комплексе «Навигатор». Возможна бережная эксплуатация силового оборудования, увеличение сроков эксплуатации и снижение аварийного времени простоя при требуемой надежности оборудования. В настоящее время в условиях санкционной политики по отношению к РФ выбрано актуальное оборудование[4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт ООО «АСиТ» [Электронный ресурс] – режим доступа – URL: https://asitcompany.ru (дата обращения: 19.07.2025).

2. Официальный сайт ООО «Регионгражданпроект» [Электронный ресурс] – режим доступа – URL: https://asitcompany.ru (дата обращения: 02.07.2025).

3. Абрамов Н. Н., Водоснабжение: учеб. пособие для вузов. / Н. Н. Абрамов М.: Стройиздат, 1994. – 480 с.: ил. - Текст: непосредственный.

4. Ключев, В. И. Теория электропривода: учеб. пособие для вузов. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.: ил. – Текст: непосредственный.

5. Методика расчета электродвигателя для насоса [Электронный ресурс]. - https://ence-pumps.ru/podbor_raschet_nasosov/ (дата обращения: 14.02.2026).

6. Мощинский Ю.А., Беспалов В.Я., Кирякин А.А., Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным. – Электричество, 1998, № 4.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП СИСТЕМЫ ГАЗООЧИСТКИ СУШИЛЬНОГО БАРАБАНА ДСФ АО «МГОК»

Панкратов Н.А., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Полещенко Д.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В данной работе рассматривается модернизация АСУ ТП системы газоочистки сушильного барабана дробильно-сортировочной фабрики АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева».

Технологический объект включает в себя следующие установки: бункер приема сырого концентрата, питатель пластинчатый, конвейер ленточный ЛК-44, дутьевой вентилятор, сушильная печь газовая, сушильный барабан, разгрузочная камера сушильного барабана, групповой циклон БЦ 250/1-130, конвейер ленточный ЛК-54, труба Вентури, скруббер МП-ВТИ (каплеуловитель), дымосос одностороннего всасывания ДС-3, повысительный насос.

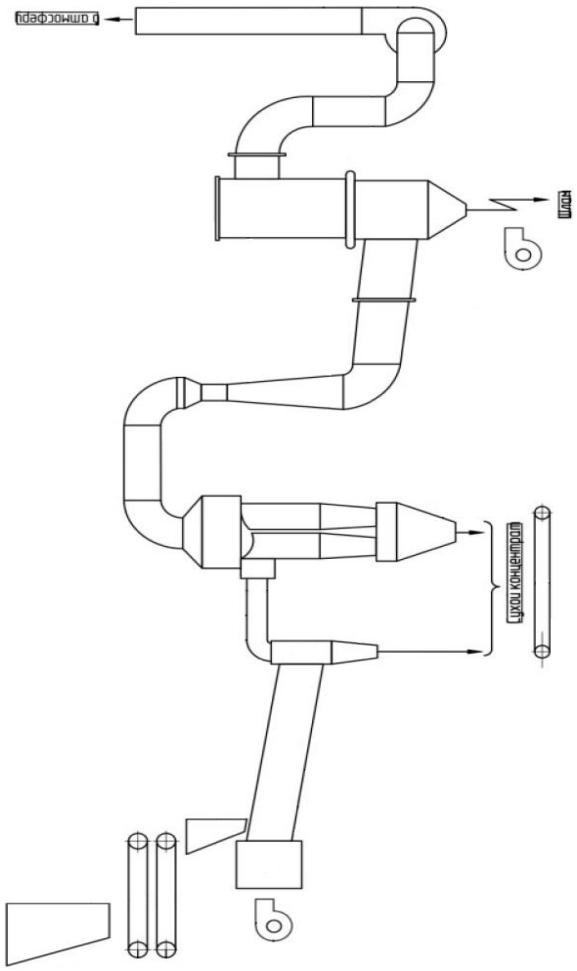


Рис. 1 – Схематичное представление технологического объекта

Система газоочистки сушильного барабана предназначена для удаления пылевых частиц из газов, образующихся в процессе сушки материала, и обеспечения экологически безопасного выброса в атмосферу. В процессе работы сушильного барабана образуется газопылевая смесь, состоящая из отработанного теплоносителя и мелкодисперсных частиц высушенного материала. Данная смесь по газоходу направляется в систему очистки.

Первичная очистка осуществляется в циклоне, где за счёт действия центробежных сил происходит отделение основной массы твёрдых частиц. Осевшие частицы выводятся из аппарата в виде сухого продукта, а частично очищенный газ направляется на следующую ступень очистки.

Для более глубокой очистки газ поступает в трубу Вентури, где происходит его ускорение и одновременное орошение жидкостью. В зоне сужения создаются условия интенсивного контакта газа с жидкостью, вследствие чего мелкие пылевые частицы смачиваются, укрупняются и становятся пригодными для последующего улавливания.

После трубы Вентури газожидкостная смесь поступает в скруббер, в котором осуществляется окончательная очистка газа. В скруббере происходит отделение капель жидкости с захваченными частицами пыли от газового потока. Образующийся шлам выводится из системы и подлежит дальнейшей утилизации или переработке.

Очищенный газ после скруббера поступает на дымосос, который создаёт необходимое разрежение во всей системе, обеспечивая устойчивое движение газов через сушильный барабан и аппараты газоочистки. Далее очищенный газ выбрасывается в атмосферу через дымовую трубу.

Функционирование системы газоочистки осуществляется под контролем автоматизированной системы управления технологическим процессом. АСУ ТП обеспечивает непрерывный контроль параметров, автоматическое регулирование режимов работы оборудования, а также защиту технологического объекта от аварийных ситуаций.

Контроль температуры газов осуществляется с помощью датчиков температуры, установленных на выходе сушильного барабана, после циклона и скруббера. Это позволяет отслеживать тепловой режим процесса и предотвращать перегрев оборудования. Контроль давления и разрежения в газоходах выполняется с использованием датчиков давления, на основании показаний которых осуществляется регулирование работы дымососа. Расход воды, подаваемой в трубу Вентури и скруббер, контролируется расходомерами. Регулирование подачи воды осуществляется автоматически в зависимости от технологических параметров с целью обеспечения требуемой эффективности очистки газов. Для контроля работы скруббера применяются датчики уровня жидкости, предотвращающие его переполнение и обеспечивающие своевременный отвод шлама. Работа насосного оборудования контролируется системой, включая режимы пуска, останова и аварийные состояния.

АСУ ТП также реализует комплекс защит и блокировок. Предусмотрена блокировка работы сушильного барабана при отсутствии необходимого разрежения, отключение оборудования при превышении допустимой температуры, а также сигнализация при отклонении технологических параметров (давления, температуры, расхода воды) от заданных значений. Дополнительно осуществляется защита при отказе дымососа и насосного оборудования.

Анализ существующей автоматизированной системы управления технологическим процессом газоочистки сушильного барабана показывает наличие ряда недочетов, снижающих эффективность, надёжность и уровень автоматизации системы.

К основным недочетам можно отнести ограниченный уровень автоматизации регулирования технологических параметров. В частности, регулирование температуры, разрежения и расхода воды осуществляется по простым одноконтурным законам и с участием оператора, что не позволяет учитывать взаимное влияние параметров и изменяющиеся условия процесса. Существенным недостатком является недостаточная точность и полнота контроля параметров, в связи с устаревшим измерительным оборудованием, что снижает достоверность информации о состоянии процесса и ухудшает качество управления. Недостаточно развитая система сигнализации и диагностики не позволяет своевременно выявлять отклонения и предотвращать аварийные ситуации. В ряде случаев отсутствует прогнозирование отказов оборудования и контроль его технического состояния. К недостаткам можно отнести и ограниченный набор защит и блокировок. Существующие

алгоритмы не учитывают все возможные аварийные режимы, что снижает уровень промышленной безопасности.

Целью модернизации автоматизированной системы управления технологическим процессом газоочистки сушильного барабана является совершенствование системы контроля технологических параметров путём установки современных датчиков температуры, давления, расхода и уровня, обеспечивающих высокую точность и надёжность измерений.

Необходимо реализовать автоматическое регулирование основных параметров процесса, включая:

- поддержание температуры газов на оптимальном уровне;
- стабилизацию разрежения в системе за счёт управления дымососом;
- регулирование расхода воды в трубе Вентури и скруббере.

Требуется разработка и внедрение расширенной системы сигнализации, защит и блокировок, обеспечивающей предотвращение аварийных ситуаций, включая перегрев оборудования, потерю тяги, отказ насосного и вентиляционного оборудования. Также необходимо обеспечить диагностику состояния оборудования и контроль его работы в реальном времени с целью повышения надёжности и снижения затрат на обслуживание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Процессы и аппараты газоочистки: учебное пособие/ А. Г. Ветошкин – Пенза: Изд-во Пензенского государственного университета, 2006. – 228 с.

2. Средства автоматизации и управления: учебник/ В. Н. Кузнецов, В. А. Кривоносов, В. С. Есилевский. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 356 с.

3. Гамбург К. С. Методические рекомендации по оформлению домашних заданий, курсовых работ/проектов и выпускных квалификационных работ. Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСиС», 2019. – 46 с.

РАЗРАБОТКА НАРРАТИВНОГО ДИЗАЙНА КОМПЬЮТЕРНОЙ ИГРЫ НА ПЛАТФОРМЕ UNITY: МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Поляк Д.И., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., ст. преподаватель **Жуков П.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Введение

Современные игры в данный момент больше фокусируются на смещении от алгоритмической реализации механик реального времени в сторону моделирования причин и следствий от действий. В терминах математического моделирования, нарративный дизайн похож на граф, где узлы – это разные состояния сюжета, а связи между ними от действий игрока и как мир вокруг меняется.

Unity является своего рода стандартом для разработки инди-игр, а также мобильных приложений, причём там, где сюжет играет действительно важную роль. Под словом "нарратив" в видеоиграх понимается в основном сюжетное содержание, которое тесно связано с самим игровым процессом. Чтобы игрок ощущал себя, погруженным и мог оторваться от реальности происходящего, игровая среда обязана откликаться на все его действия.

Диалоговая система представляет собой инструмент, который дает игроку возможность погрузиться в общую историю внутри смоделированной среды через игровой процесс. Для создания таких нарративных структур разработчикам доступны разные средства. К примеру, в Unity есть набор Gameplay and Storytelling Feature Set, включающий инструменты Timeline, Cinemachine и Visual Scripting, которые помогают организовывать события во времени [1].

Однако при создании сложных, нелинейных диалогов с множеством ветвлений исключительно с помощью стандартных инструментов Unity, возникают значительные сложности. Это проявляется в резком увеличении объема кода и появлении проблем с управлением состояниями системы.

Научная цель этой работы состоит в том, чтобы предложить формализованный способ выбрать инструменты Unity для нарративного дизайна. Вместо того чтобы смотреть на маркетинговые преимущества, мы изучаем структуру данных инструментов и их протоколы взаимодействия. В отличие от уже существующих обзоров, мы вводим количественные показатели, которые показывают, насколько эти инструменты совместимы с системами контроля версий (Git) и с паттернами внедрения зависимостей (Dependency Injection).

Методология и критерии оценки инструментария

Для проведения объективного анализа были отобраны программные продукты и библиотеки, представленные в репозитории «Unity Asset Store», открытых репозиториях «GitHub», а также решения, апробированные в материалах международных научных конференций (ICIDS 2023) [2]. Оценка производилась на основе формальной модели, включающей пять бинарных и ранговых критериев:

1. Сложность интеграции (I) – это мера трудоемкости встраивания модуля в существующий проект. Диапазон [1; 5], где 5 соответствует интеграции без необходимости компиляции дополнительного кода;
2. Гибкость ветвления (B) – это выразительная мощность языка описания сценария. Оценивается поддержка недетерминированных переходов, предикатов и модификации глобального состояния;
3. Визуализация данных (V) – это наличие встроенного редактора графов (Node Graph Editor), снижающего порог входа для специалистов нетехнического профиля;

4. Совместимость с VCS (VCS) – это пригодность формата сериализации данных для разрешения конфликтов слияния в Git. Текстовые форматы (.txt, .yarn, .json) считаются приоритетными перед бинарными (.asset, .prefab);

5. Локализация (L) – это поддержка мультиязычности на уровне архитектуры данных без необходимости дублирования составных элементов системы.

Анализ модели пространственно-временного сторителлинга

Нативные компоненты Unity, собранные в набор «Gameplay and Storytelling», обеспечивают управление анимацией и камерами по модели дискретных событий. «Timeline» реализует временную шкалу, которая помогает синхронизировать вызовы методов с ключевыми кадрами. «Cinemachine» отвечает за создание виртуальных камер на основе разных поведенческих алгоритмов, например, для плавного отслеживания объектов с демпфе́ром. «Visual Scripting» позволяет связывать события, используя поток данных, без необходимости писать код на C# [1].

С математической точки зрения, эти инструменты хорошо подходят для создания линейных и относительно простых древовидных структур с небольшой глубиной ветвления. Однако при применении в таких жанрах, как визуальные новеллы или ролевые игры с открытым миром, возникают сложности. Это связано с тем, что приходится вручную связывать множество элементов из открытых репозиториев, что приводит к резкому росту числа связей в редакторе сцен и усложняет работу.

Сравнительный анализ внешних фреймворков и архитектур хранения данных

В ходе исследования были изучены программные интерфейсы и форматы данных различных сторонних решений. Одним из главных факторов, влияющих на выбор инструмента в промышленной разработке, является способ сериализации нарративного графа. Результаты представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, инструменты, основанные на текстовых скриптовых языках, таких как Yarn и CALEB, показывают большую надёжность при работе распределённых команд, которые используют методологию Git Flow. В то же время бинарные форматы, применяемые в визуальных редакторах вроде Storyteller 2, требуют дополнительных мер по блокировке файлов, чтобы обеспечить совместную работу нарративных дизайнеров [3].

Формализация пайплайна интеграции нарративных компонентов

На основе анализа кейса проекта Pentiment (Obsidian Entertainment), отличительной особенностью которого является процедурно-типографическая модель отображения социального статуса персонажей через шрифтовые гарнитуры [4], и архитектурных принципов, заложенных в плагине Narralive для преодоления семантического разрыва между сценаристом и игровым движком [2], предложен следующий производственный конвейер.

Таблица 1 – Сравнительный анализ форматов сериализации и архитектурных характеристик фреймворков

Инструмент	Формат сериализации	Визуализация графа	Оценка VCS-совместимости	Поддержка локализации
Unity Timeline	.playable (Binary)	Временная шкала	Низкая	Ручная
Storyteller 2	Нодовый граф (ScriptableObject)	Да	Средняя	Встроенная (TTS/Text)
Yarn Spinner	.yarn (Plain Text)	Внешние редакторы	Высокая	Через теги строк
Articy:draft X Importer	.articy (XML-like / JSON via Plugin)	Да (вне IDE)	Средняя	Полная
CALEB	.txt (Plain Text)	Нет	Высокая	Ручная

Таблица 2 – Рекомендуемый технологический стек в зависимости от жанровой модели

Жанр игры (Класс сложности нарратива)	Инструмент моделирования сценария	Инструмент визуализации/исполнения
Визуальная новелла	Yarn Spinner / CALEB	Встроенный UI Canvas + TextMeshPro
RPG с открытым миром	Articy:draft X	Импортер Articy + Timeline
Квестовая адвенчура	Yarn Spinner + Кастомный парсер	Cinemachine + Timeline
Симулятор с процедурным лором	Narrative Designer	AI-ассистенты + ScriptableObject

Использование предложенного стека позволяет сократить время на этапе пре-продакшена и сохранить масштабируемость нарративной системы без значительного снижения производительности при выполнении.

Результаты исследования подтверждают предположение, что выбор инструмента для нарративного дизайна в «Unity» — это многокритериальная задача, где важным фактором является не столько вычислительная мощность платформы, сколько скорость и качество коммуникации внутри команды разработки.

Были выявлены следующие ограничения модели:

1. Отсутствие универсального промежуточного представления (IR). Сейчас в «Unity» нет единого стандарта для обмена нарративными графами, похожего на FBX в 3D-графике, из-за чего разработчикам приходится пользоваться проприетарными форматами и соответствующими репозиториями.
2. Проблема с детерминизмом. В отличие от классических детерминированных конечных автоматов, интерактивный нарратив с генеративным ИИ вводит элемент случайности, что требует создания новых метрик для оценки согласованности нарратива [5].

Заключение

В рамках данной работы была разработана классификация инструментов нарративного дизайна для Unity, основанная на анализе структур данных и протоколов взаимодействия. Показано, что гибридный подход, сочетающий текстовые DSL-языки (например, Yarn) для представления графа сценария и визуальные редакторы (Timeline, Storyteller) для настройки временных последовательностей, работает эффективно. Одной из программных реализаций такого подхода может служить связка Yarn Spinner и плагина Merino [6].

Разработанная модель производственного процесса может помочь руководителям технических отделов снизить транзакционные издержки при создании игр с сюжетной направленностью. В дальнейшем стоит сосредоточиться на создании формальной проверяемой модели интерактивного повествования, используя темпоральную логику (Linear Temporal Logic, LTL) для автоматизированной проверки возможности достижения определённых сюжетных состояний. В академической среде уже есть определённые наработки в этом направлении, например, плагин CALEB [7]. Для крупных студий, работающих с большим объёмом контента, важно обеспечить интеграцию с внешними редакторами, такими как Articy:draft X [8]. Кроме того, практические вопросы реализации ветвлений на C# подробно освещены в технической документации [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Unity Technologies. Gameplay and Storytelling feature set // Unity Manual. URL: https://docs.unity3d.com/Manual/GameplayStorytellingFeature.html (дата обращения: 10.03.2026). – Текст: электронный.
2. The Narralive Unity Plug-In: Bridging the Gap Between Intuitive Branching Narrative Design and Advanced Visual Novel Development // Proceedings of ICIDS 2023, LNCS 14383. Springer, 2023. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-47655-6_14 (дата обращения: 11.03.2026). – Текст: электронный.

3. Storyteller 2 (Dialogue and Interaction Creation) // Unity Asset Store. URL: https://assetstore.unity.com/packages/tools/utilities/storyteller-2-dialogue-and-interaction-creation-252514 (дата обращения: 12.03.2026). – Текст: электронный.

4. Pentiment: интерактивная рукопись, созданная на Unity // Foro3D. URL: https://foro3d.com/ru/2026/fevral/pentiment-interaktivnaya-rukopis-sozdannaya-s-pomoshchyu-unity.html (дата обращения: 13.03.2026). – Текст: электронный.

5. Narrative Designer: visualize, systematize and enrich the story with AI // Unity Asset Store. URL: https://assetstore.unity.com/packages/tools/generative-ai/narrative-designer-visualize-systematize-and-enrich-the-story-wi-317246 (дата обращения: 14.03.2026). – Текст: электронный.

6. Merino - Yarn Spinner Integration for Unity // GitCode Archive. URL: https://github.com/YarnSpinnerTool/YarnSpinner-Unity (дата обращения: 15.03.2026). – Текст: электронный.

7. CALEB - A Unity Visual Novel Plugin // Digital WPI. Masters Thesis. 2025. URL: https://digital.wpi.edu/show/1r66j562s (дата обращения: 16.03.2026). – Текст: электронный.

8. articy:draft X Importer // Unity Asset Store. URL: https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/articy-draft-x-importer-1837 (дата обращения: 17.03.2026). – Текст: электронный.

9. How to Implement Branching Storylines in Unity/C# // Microsoft Q&A. URL: https://learn.microsoft.com/en-us/answers/questions/5619260/how-to-implement-branching-storylines-in-unity-c (дата обращения: 18.03.2026). – Текст: электронный.

ИЗМЕНЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В КРЕМНИИ И ГЕРМАНИИ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛЕГИРУЮЩИХ ПРИМЕСЕЙ

Полякова А.И., студент 1 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Мякотина М.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Полупроводниковые материалы – группа материалов электронной техники, которые без воздействия внешней энергии ведут себя как непроводящий материал, а при воздействии внешней энергии ведут себя как проводниковые. Благодаря своим свойствам полупроводники часто используются в разных областях. Наиболее популярны в применении – кремний и германий. Элементарные полупроводники четвертой группы периодической системы, которые благодаря своим свойствам стали основой большинства электронных приборов. Основным показателем, определяющим рабочие характеристики полупроводниковых устройств, - подвижность носителей заряда. Она напрямую влияет на быстродействие приборов, их частотные свойства и энергоэффективность. Один из способов управления подвижностью носителей заряда – изменение состава. В данной статье рассмотрим такой приём изменения состава, как легирование, то есть процесс добавления в основной материал примесей с целью изменения его свойств.

Легирующие примеси - примеси, специально добавляемые в основной материал для улучшения его свойств. Существует два типа легирующих примесей: донорные и акцепторные.

Донорные легирующие примеси представляют собой элементы 5 группы (фосфор, мышьяк, сурьма). Наиболее часто используемый среди них – это фосфор. У элементов этой группы 5 валентных электронов, тогда как у кремния и германия — 4. Четыре электрона примесного атома образуют ковалентные связи с соседними атомами кремния или германия, а пятый остаётся слабо связанным и легко переходит в зону проводимости. Благодаря этому кремний или германий становятся полупроводниками n-типа, то есть полупроводниками с электронным типом проводимости.

Акцепторные легирующие примеси представляют собой элементы 3 группы (бор, алюминий, галлий, индий). Наиболее часто используемые среди них – это бор и индий. При легировании один из атомов полупроводника замещается атомом акцептора. Атом примеси имеет 3 валентных электрона, поэтому может образовать только 3 ковалентные связи с тремя соседними атомами основного материала. Четвертая связь остается незавершенной. Незаполненная валентная орбиталь создает локальное электрическое поле, которое притягивает электрон из соседней ковалентной связи между атомами полупроводника. Когда электрон из соседней связи заполняет орбиталь, атом акцептора становится отрицательным ионом, так как приобрел дополнительный электрон. А в той связи, откуда ушел электрон, образуется новое вакантное место с положительным зарядом. Новая дырка может быть заполнена электроном из другой соседней связи. Так дырка перемещается по кристаллу и создается эффект движения положительного заряда. Благодаря этому кремний или германий становятся полупроводниками p-типа, то есть полупроводниками с дырочным типом проводимости.

При увеличении концентрации донорных и акцепторных примесей в кремнии и германии происходят заметные изменения в подвижности носителей заряда, ключевом параметре, определяющем проводимость полупроводников. Подвижность характеризует скорость упорядоченного движения электронов или дырок под действием электрического поля и напрямую влияет на эффективность работы полупроводниковых приборов. В чистых полупроводниках, таких как монокристаллический кремний или германий, подвижность определяется рассеянием на фононах (колебаниях решётки), однако с ростом концентрации

легирующих примесей начинает доминировать рассеяние на ионизированных примесях. Ионы донорных и акцепторных легирующих примесей влияют на подвижность носителей заряда, так как подвижные носители заряда при движении испытывают соударения, что приводит к обмену энергией между носителями и ионами и в конечном итоге к изменению величины подвижности носителей. При легировании в кристаллической решётке появляются такие дефекты, как примесные атомы (донорные или акцепторные атомы), создающие кулоновские поля, рассеивающие движущиеся электроны или дырки. Чем выше концентрация примесей, тем чаще носители сталкиваются с такими рассеивающими центрами, и подвижность падает. К тому же атомы легирующих элементов имеют иной размер, чем атомы кремния или германия, что вызывает локальные напряжения в решётке, создающие дополнительные центры рассеяния. Также легирование нарушает структуру кристаллической решётки, что усиливает взаимодействие носителей с порциями энергии упругих колебаний кристаллической решетки, особенно заметное при повышенных температурах. Кроме того, избыточные примеси могут формировать дополнительные энергетические уровни в запрещённой зоне, захватывая носители заряда, что снижает эффективную концентрацию подвижных носителей и их среднюю скорость.

В кремнии при низких концентрациях примесей (до $\sim 10^{16}$ см$^{-3}$) подвижность электронов составляет около 1450 см^2/(В·с), а дырок — около 450 см^2/(В·с). При этом основным механизмом рассеяния остаётся взаимодействие с фононами, и зависимость подвижности от концентрации примесей практически линейна. Однако при дальнейшем увеличении концентрации легирующих примесей (например, при введении фосфора или бора) возрастает плотность ионизированных центров, которые создают сильное электростатическое поле. Это приводит к резкому увеличению вероятности рассеяния носителей заряда на этих центрах, что уменьшает их среднюю длину свободного пробега и, как следствие, снижает подвижность. Уже при концентрациях $\sim 10^{18}$ см$^{-3}$ подвижность электронов в кремнии может упасть до 600–800 см^2/(В·с), а дырок — до 200–300 см^2/(В·с). При этом наблюдается нелинейное падение подвижности, особенно при переходе через порог $\sim 10^{17}$ см$^{-3}$. Это связано с тем, что насыщение числа рассеивающих центров делает влияние одного дополнительного атома примеси уже менее выраженным, но общая деградация подвижности сохраняется. Важно отметить, что при чрезмерном легировании возможны эффекты «заполнения» энергетических уровней и даже переход к металлическому поведению, однако при этом подвижность остаётся низкой из-за сильного рассеяния.

В германии, как и в кремнии, наблюдается аналогичная картина, но с некоторыми особенностями. Благодаря меньшей эффективной массе носителей заряда и более высокой подвижности в чистом виде, германий с большей чувствительностью реагирует на изменение концентрации примесей. При низких дозировках (до 10^{16} см$^{-3}$) подвижность электронов в германии достигает 3900 см^2/(В·с), а дырок — около 1800 см^2/(В·с). Однако уже при концентрациях выше 10^{17} см$^{-3}$ подвижность начинает падать значительно быстрее, чем в кремнии. Это объясняется более сильным влиянием электростатического поля ионизированных примесей на электроны, которые в германии имеют меньшую эффективную массу и, следовательно, более чувствительны к нарушениям кристаллической решётки. Особенность германия — это также более высокая подверженность эффектам «перенасыщения» и нарушениям кристаллической структуры при интенсивном легировании. При концентрациях выше 10^{19} см$^{-3}$ подвижность может упасть до 100–200 см^2/(В·с) даже для электронов, что делает такой материал непригодным для высокоскоростных приложений. Кроме того, в германии наблюдается эффект «дополнительного рассеяния» на дефектах решётки, вызванных введением примесей, что дополнительно снижает подвижность.

Сравнивая два материала, можно сделать вывод: при одинаковых концентрациях легирующих примесей кремний демонстрирует более устойчивую подвижность по сравнению с германием. Это обусловлено более высокой устойчивостью кристаллической решётки к искажениям и меньшей чувствительностью к электростатическим флуктуациям. Однако германий остаётся предпочтительным материалом для высокоскоростных приложений при

низких и средних уровнях легирования, где его высокая подвижность даёт ощутимое преимущество.

Таким образом, увеличение концентрации легирующих примесей в кремнии и германии приводит к систематическому снижению подвижности носителей заряда из-за усиления рассеяния на ионизированных дефектах и нарушениях кристаллической решётки. В кремнии этот процесс протекает более плавно, тогда как в германии наблюдается более выраженная нелинейность и ускоренное падение подвижности. Учёт этих эффектов критически важен при проектировании полупроводниковых транзисторов, диодов и других элементов микроэлектроники, где подвижность напрямую определяет скорость переключения, уровень мощности рассеяния и энергоэффективность устройства. Оптимизация легирования представляет собой компромисс между повышением проводимости и сохранением высокой подвижности, что требует точного контроля концентрации примесей и применения передовых технологий - имплантации с контролем дозы, термической диффузии с последующей рекристаллизацией. Комплексный подход к изучению влияния легирующих примесей позволяет находить оптимальные балансы между электрическими свойствами материала, обеспечивая высокую производительность и надёжность конечных устройств. Несмотря на неизбежное снижение подвижности при росте концентрации примесей, выбор правильного состава легирующих элементов и технологических режимов открывает перспективы для создания новых поколений электронных компонентов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физические явления в полупроводниках: учебно-методическое пособие / составители: А. А. Потапов, А. М. Синицин, Р. Р. Зайнуллин [и др.]. – Казань: КГЭУ, 2022. – 74 с.

2. Ершов А. В., Машин Н. И., Хохлов А. Ф., Чучмай И. А. Получение, легирование и свойства аморфных пленок кремния с изовалентной примесью германия // Известия ЮФУ. Технические науки. 2000. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-legirovanie-i-svoystva-amorfnyh-plenok-kremniya-s-izovalentnoy-primesyu-germaniya.

3. Троян, П. Е. Твердотельная электроника: Учебное пособие [Электронный ресурс] / П. Е. Троян. — Томск: ТУСУР, 2006. — 330 с. —

4. Шарибаев Н. Ю. ТЕРМООБРАБОТКА И ЛЕГИРОВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ // Экономика и социум. 2021. №12-2 (91). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/termoobrabotka-i-legirovanie-monokristallicheskogo-kremniya.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАМОТОЧНОЙ МАШИНЫ СПЦ-2 АО «ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА»

Попов Д.А., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Молодых А.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Намоточная машина расположена в технологическом потоке мелкосортного стана. Она предназначена для сматывания горячекатаного готового проката в мотки с повышенной степенью заполнения путем регулируемого натяжения при намотке. От её работы зависят успешная эксплуатация всего стана и качество готовой продукции [1].

На рисунке 1 изображена конструкция моталки.

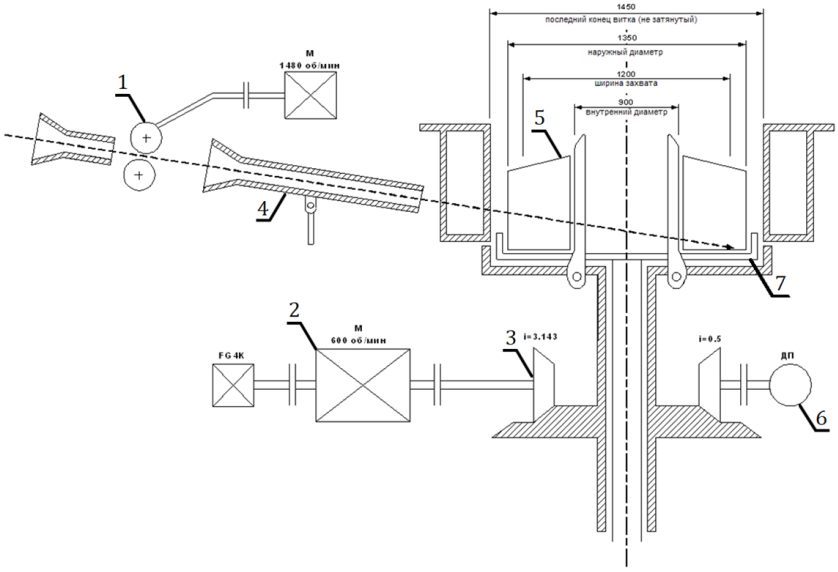


Рис. 12 – Конструкция намоточной машины: 1 – трайбаппарат; 2 – электродвигатель; 3 – коническая передача; 4 – маятниковая труба; 5 – бунт; 6 – датчик положения; 7 – намоточная тарелка

Прокатываемая в стане полоса выходит из последней клети и через трайбаппарат (1) поступает на моталку для сматывания в рулон. Привод барабана моталки осуществляется от регулируемого электродвигателя постоянного тока (2) через коническую зубчатую передачу (3). Сматывание бунта осуществляется при подаче катанки через маятниковую трубу (4) в предусмотренную зону захвата на намоточной тарелке (7).

Скорость вращения поддона определяется скоростью подачи катанки и выбирается по среднему (между наружным и внутренним) диаметру сматываемого бунта. Для управления намоткой используют датчик положения (6).

После окончания сматывания двигатель затормаживается, и моталка останавливается. Подводящая трубка поднимается в верхнее положение, а смотанный бунт поднимается с помощью цилиндра из кольцевого пространства (5) тарелки и удерживается в этом положении. Затем моток передается на последующие транспортирующие устройства.

Если в процессе намотки скорость вращения поддерживать постоянной, то по мере увеличении диаметра будет увеличиваться линейная скорость, а следовательно, и натяжение. Однако для управления технологическим процессом и получения необходимого качества продукции натяжение необходимо поддерживать постоянным. Поэтому с увеличением

диаметра бунта уменьшают скорость вращения барабана моталки так, чтобы линейная скорость намотки осталась неизменной.

Поскольку натяжение и скорость являются величинами постоянными, то процесс намотки происходит при постоянной мощности, поэтому желательно использовать регулирование скорости во второй зоне, которое позволяет более полно использовать мощность двигателя.

В настоящее время для привода барабана моталки используется двигатель постоянного тока GMMQW 4514-600. У данного двигателя имеется ряд недостатков. Срок его службы составляет более 40 лет, вследствие чего у него имеется значительный физический износ. Кроме того, как машина постоянного тока, он имеет существенный недостаток конструктивного характера, связанный с наличием и работой щёток и коллектора. Это вызывает необходимость периодического технического обслуживания, что приводит к простоям механизма. Для уменьшения количества простоев из-за ремонтов предлагается заменить данный привод на частотно регулируемый асинхронный привод.

Для регулирования скорости электродвигателя было принято решение использовать метод векторного управления. Это метод управления двигателями переменного тока, в основе которого лежит представление токов статора как векторов, изменяющихся по фазе и амплитуде. В отличие от скалярного метода, который регулирует только частоту и напряжение, векторное управление позволяет отдельно контролировать магнитный поток и электромагнитный момент двигателя. Реализуется это следующим образом: измеренные значения токов и напряжений в трёхфазной системе преобразуются в двухфазную вращающуюся систему координат dq. Эта система координат вращается со скоростью поля статора, при этом, как правило, ось d ориентирована по направлению вектора потокосцепления ротора. В установившемся режиме обобщённый вектор тока и система координат вращаются с одной скоростью. Получается, что для установившегося режима проекции тока на координатные оси являются величинами постоянными. За магнитный поток отвечает проекция тока на ось d, а проекция тока на ось q отвечает за момент.

Регулирование во второй зоне осуществляется путём ослабления магнитного потока. В этом случае в верхней зоне обеспечивается та же кратность максимальной мощности, что и при основной скорости [2]. При векторном управлении, чтобы ослабить магнитный поток, нужно уменьшить продольную составляющую тока статора во вращающейся системе координат dq, ориентированной по вектору потоксцепления ротора.

По параметрам намоточной машины был выбран двигатель АДЧР355MLA8, мощностью 200 кВт и синхронной скоростью 750 об/мин. К двигателю был подобран преобразователь частоты FCI-G355-4F, мощностью 355 кВт и номинальным током 680 А. Данный преобразователь поддерживает как скалярное, так и векторное управление.

Была разработана модель привода моталки в пакете Matlab (рисунок 2).

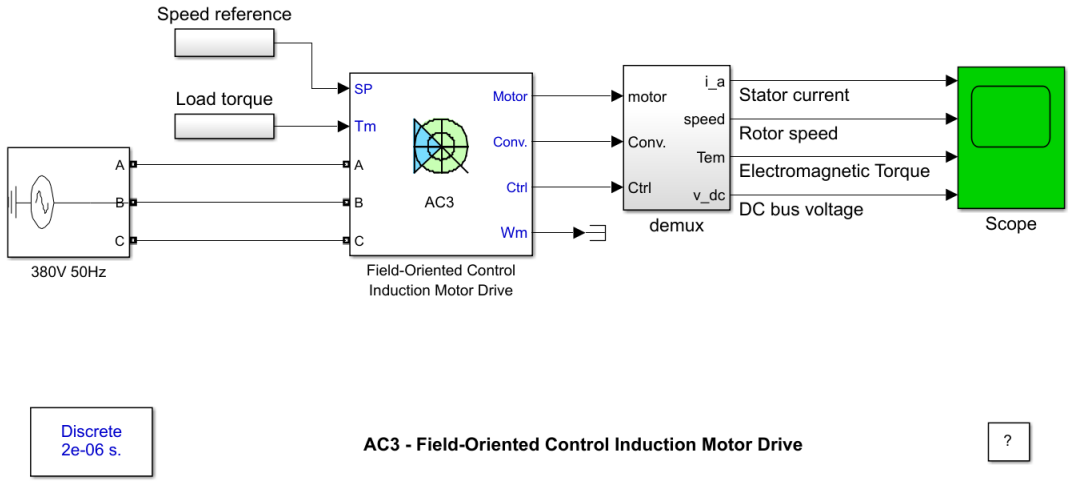


Рис. 2 – Модель электропривода намоточной машины

Данная модель состоит из системы управления и силовой части. Силовая часть представляет из себя трёхфазный диодный выпрямитель, тормозной прерыватель, трёхфазный инвертор, и двигатель. К системе управления относится регулятор скорости, блок FOC, в котором реализован алгоритм векторного управления (рисунок 3).

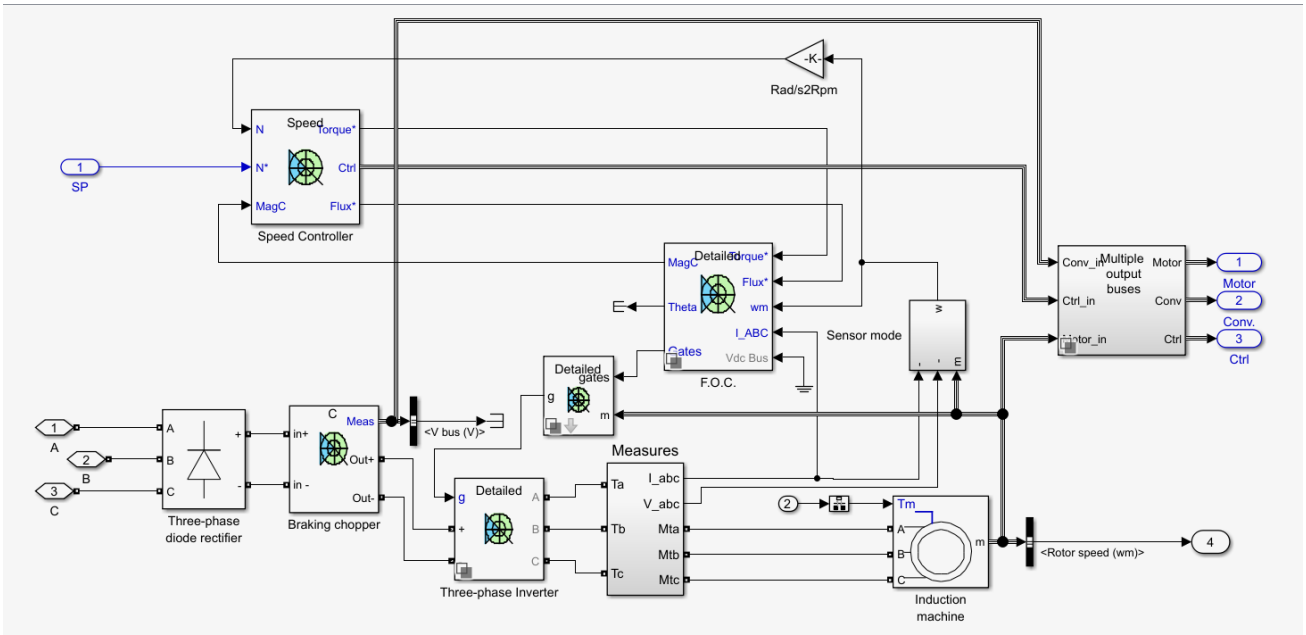


Рис. 3 – Модель электропривода с векторным управлением

Выходом регулятора скорости являются задание по моменту и задание по потоку. Задание по моменту формируется непосредственно с помощью ПИ-регулятора. По вычисленному рассогласованию между заданным и текущим значением частоты вращения, согласно ПИ-алгоритму, формируется задание по моменту. Задание по магнитному потоку формирует блок Flux Table (рисунок 4).

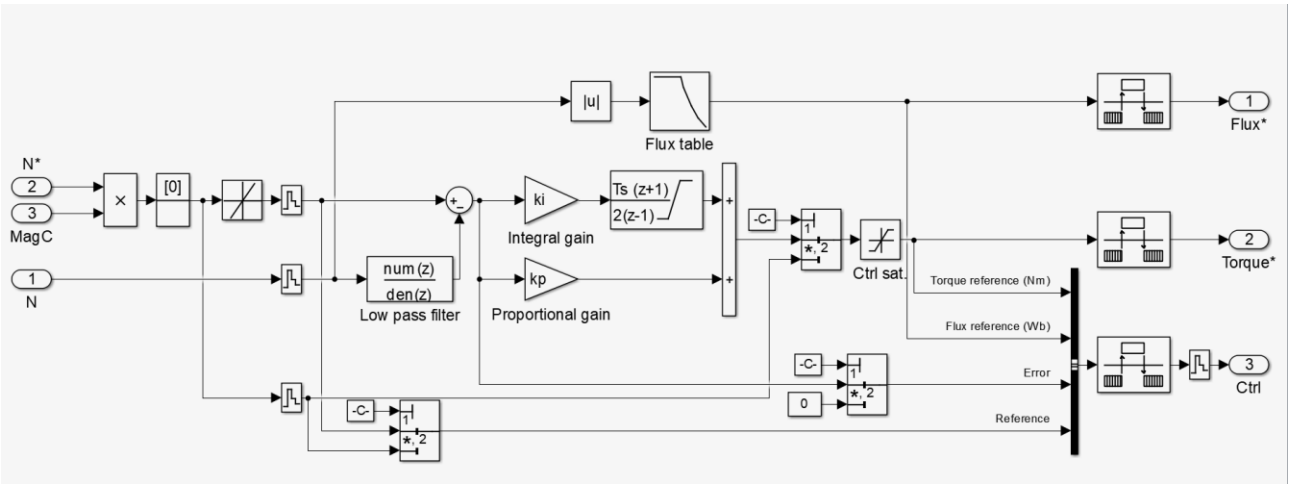


Рис. 4 – Содержимое блока Speed Controller

Содержимое блока Flux Table показано на рисунке 5. Текущая скорость проходит через блок модуля Abs, который показывает абсолютное значение числа без учёта его знака. Пока скорость не превышает номинальную, задание по потоку постоянно. Это осуществляется с помощью блока ограничения Saturation, у которого нижняя граница – номинальная скорость, а верхняя равна бесконечности. Далее сигнал поступает в блок F. Когда скорость возрастает выше номинальной, магнитный поток уменьшается обратно пропорционально превышению скорости для поддержания постоянной мощности. В этом блоке номинальная скорость *bs*

умножается на номинальное значение магнитного потока *nf* и делится на текущую скорость *u(1)*. На выходе формируется задание по величине магнитного потока.

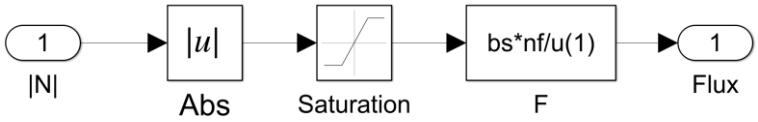


Рис. 5 – Содержимое блока Flux Table

В блок FOC поступают задание по моменту, задание по потоку, текущая скорость, ток и напряжение в звене постоянного тока. По текущим значениям фазных токов и угла поворота координатной системы, вычисленного по значению скорости, можно перейти из неподвижной системы координат *ABC* во вращающуюся систему координат *dq*. Это позволяет представить переменные токи в удобной для анализа форме и синтезировать систему управления. Задание по моменту преобразовывается в задание по проекции тока статора на ось *q*, задание по потоку преобразовывается в задание по проекции тока на ось *d*. На выходе ПИ-регуляторов проекций тока статора на продольную и поперечную оси формируются задания по напряжениям. Эти значения вместе с напряжением звена постоянного тока приходят в блок пространственно-векторной модуляции SVPWM, который генерирует сигналы для управления ключами инвертора. Дальше выдаётся задание на инвертор, который формирует напряжение в соответствии с реализуемым законом управления (рисунок 6).

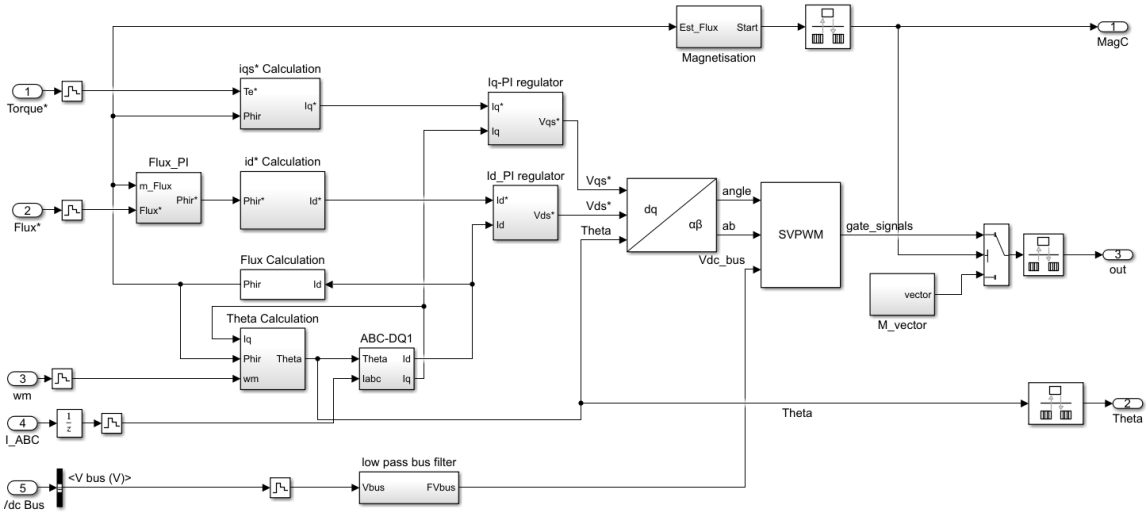


Рис. 6 – Содержимое блока FOC

В результате моделирования предлагаемого варианта электропривода моталки были получены графики переходных процессов по току статора, угловой скорости, электромагнитному моменту и напряжению в звене постоянного тока.

На графике скорости показан разгон моталки до скорости 750 об/мин, на этой скорости происходит захват проката. После отсчёта времени, необходимого на захват, происходит разгон до 1000 об/мин и переход двигателя во вторую зону регулирования. Далее происходит процесс смотки с уменьшением скорости вращения барабана, переход на «ползучую» скорость и торможение (рисунок 7).

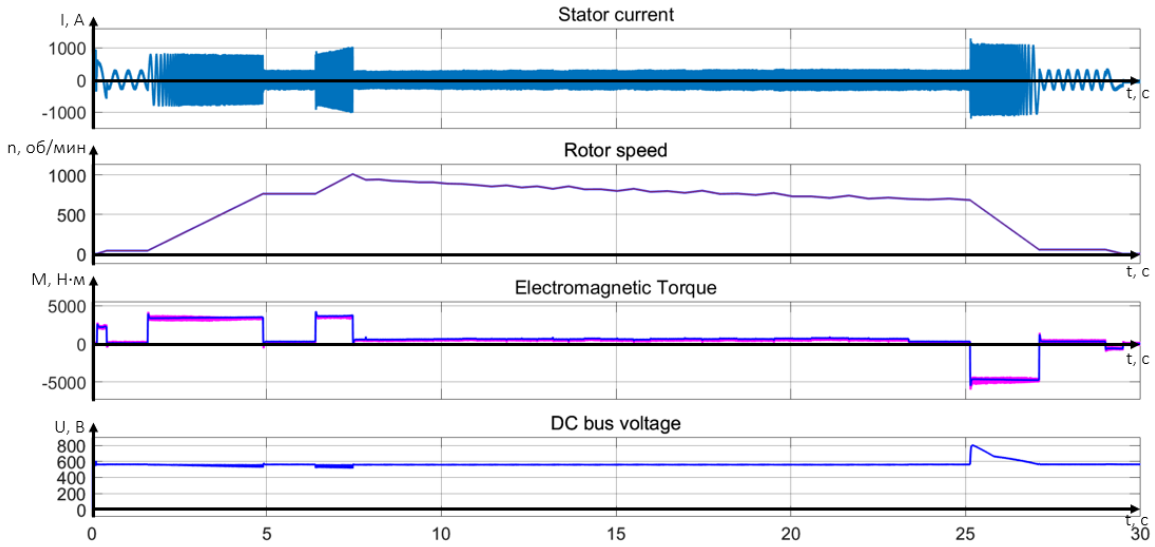


Рис. 7 – Результаты моделирования

На рисунке 8 приведены графики проекций токов статора на продольную *id* и поперечную *iq* оси, а также график модуля потокосцепления ротора *Phir*.

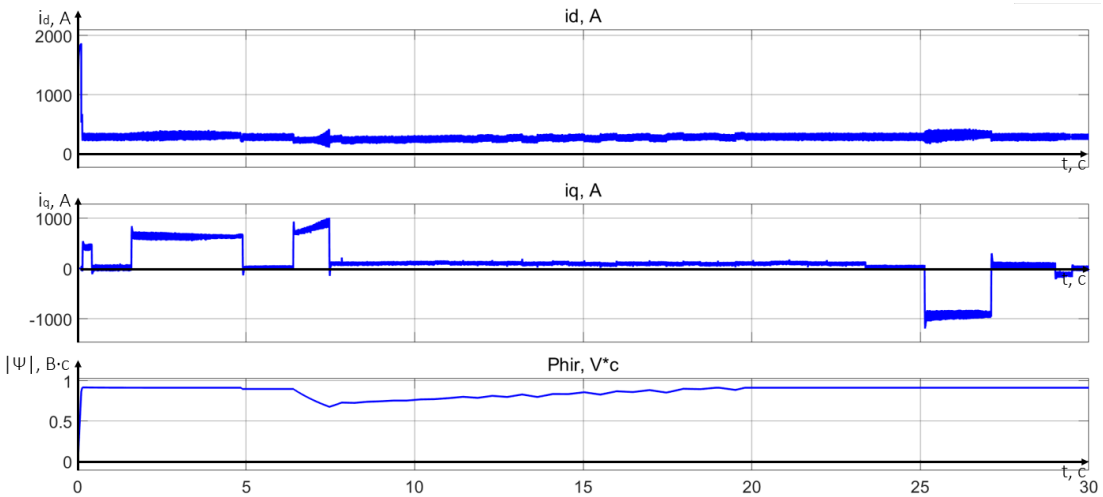


Рис. 8 – Графики проекций токов статора на оси *d* и *q* и модуля потокосцепления ротора

Видно, что при изменении скорости в пределах первой зоны регулирования проекция тока i_d и потокосцепление ротора остаются постоянными, а проекция тока i_q практически повторяет форму графика электромагнитного момента. При переходе на скорость выше номинальной, происходит уменьшение проекции тока i_d и ослабление магнитного потока. Однако при сохранении постоянного момента это компенсируется увеличением проекции i_q. Можно сделать вывод, что реализация регулирования скорости в первой и второй зонах выполнена корректно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Целиков А. И., Полухин П. И., Гребеник В. М. и др., Машины н агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. Учебник для вузов / А. И. Целиков, П. И. Полухин, В. М. Гребеник и др. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Металлургия, 1988. 680 с -Текст: непосредственный

2. Вейнгер А.М., Регулируемые электроприводы переменного тока. Конспект вводных лекций / А.М. Вейнгер - М.: 2009. - 102 с -Текст: непосредственный

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУТП ПРЕССОВ ВУЛКАНИЗАЦИИ ЦЕХА ВУЛКАНИЗАЦИИ АО «СТОЙЛЕНСКИЙ ГОК»

Прасолов Н.Р., студент 4 курса
Научный руководитель - к.т.н., доцент **Полещенко Д.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В данной работе рассматривается технологический процесс вулканизации конвейерных лент на Стойленском горно-обогатительном комбинате (Стойленский ГОК), а именно модернизация АСУ ТП вулканизационного пресса. Технологическая линия включает в себя вулканизационный пресс, систему нагрева (ТЭНы), гидравлическую маслостанцию и систему контроля параметров.

Назначение вулканизационного пресса — формирование монолитного соединения концов конвейерной ленты под действием температуры, давления и времени. Типичные параметры процесса: температура 140–150 °C, давление 100–450 бар, время выдержки от 30 до 90 минут. Качество вулканизации напрямую влияет на аварийность конвейерных систем и экономические потери предприятия.

На сегодняшний день система управления процессом вулканизации осуществляется вручную: контроль температуры и давления производится локально, регулирование параметров выполняется оператором, отсутствует архивирование данных и система принудительного охлаждения. Это приводит к нестабильности качества соединений, увеличению длительности технологического цикла и повышенному риску аварийных ситуаций. Для устранения указанных недостатков необходимо провести модернизацию АСУ ТП участка вулканизации.

Для улучшения работы пресса предлагается реализовать два контура регулирования: контур управления температурой (нагрев и принудительное охлаждение) и контур регулирования давления (зависимость от температуры). Управление осуществляется с помощью ПИД-регуляторов. Переключение режимов нагрева и охлаждения производится автоматически по истечении заданного времени выдержки.

Математическая модель контуров регулирования температуры и давления представлена на рисунке 1 (структурная схема в пакете Matlab Simulink).

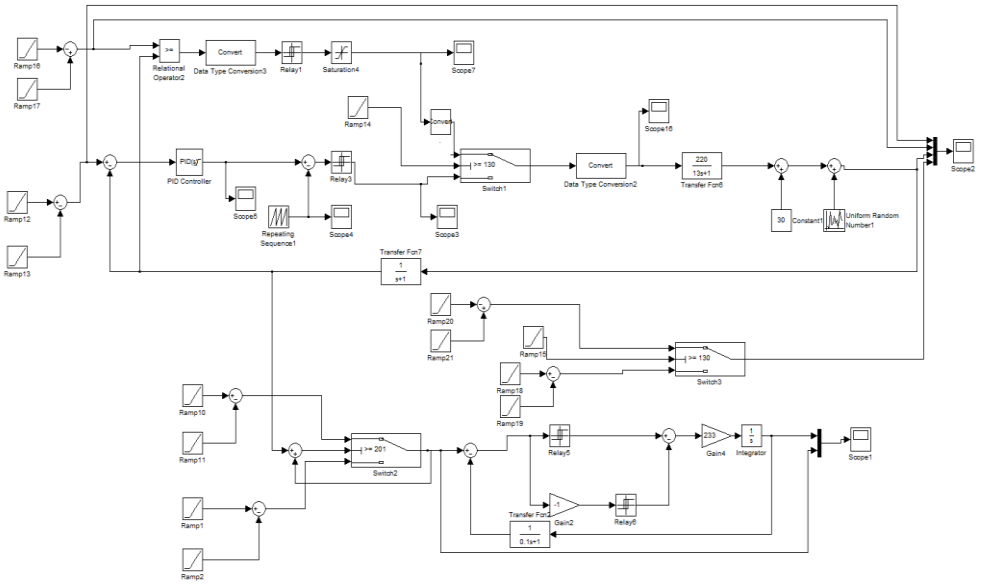


Рис. 1 – Структурная схема контуров управления температурой и давлением

В результате работы схемы получаем следующие графики переходных процессов (Рис. 2, рис. 3):

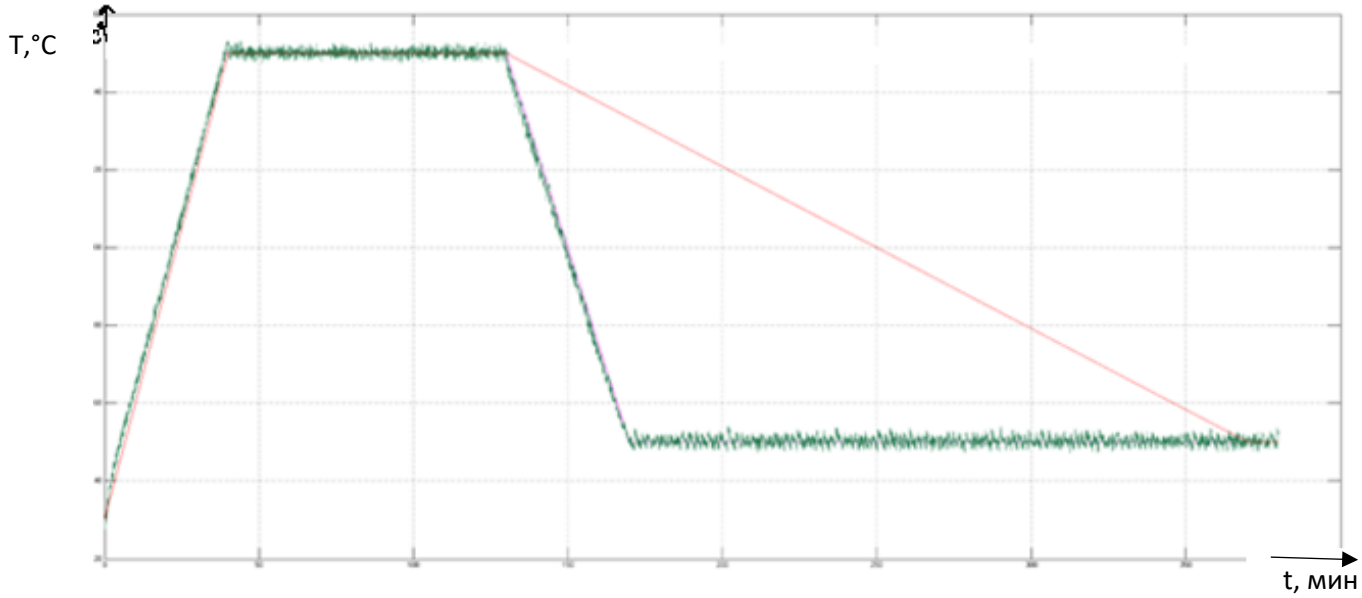


Рис. 2 – Задание и выход для температуры(Фиолетовая линия - задание температуры, зеленная линия – выход температуры, красная линия – выход до модернизации АСУТП)

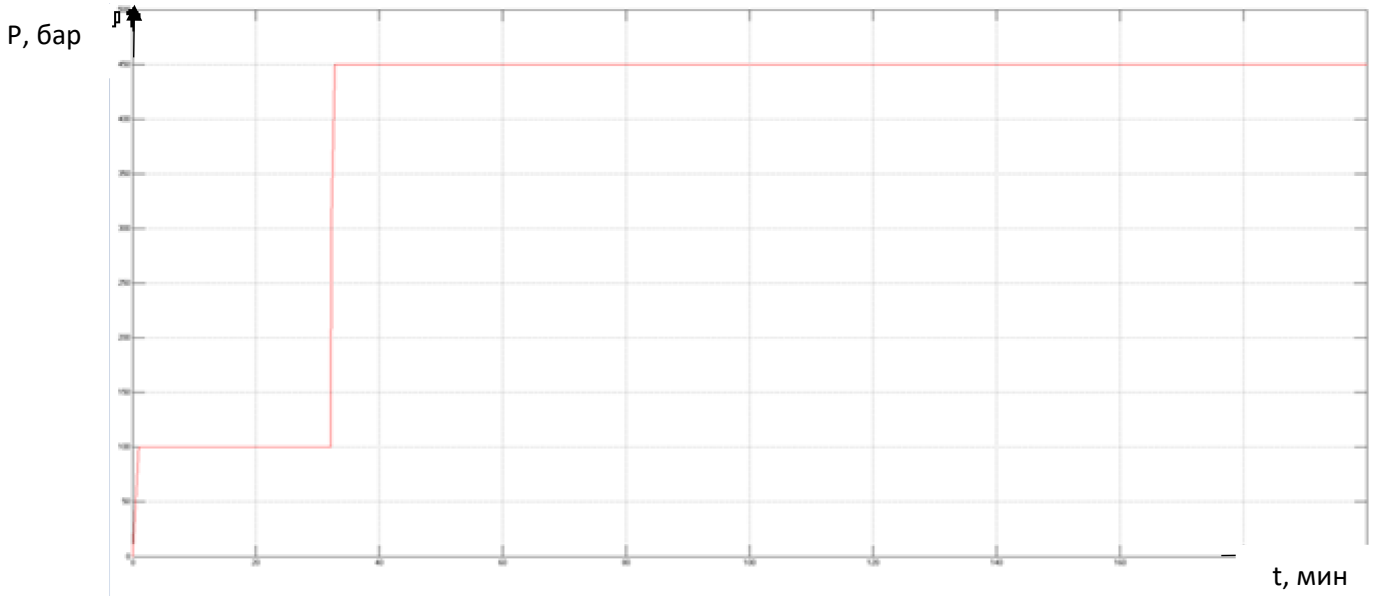


Рис. 3 – Задание и выход для давления (Желтая линия – задание давления, красная линия – выход давления)

Результаты моделирования переходного процесса показали, что система обеспечивает выход на задание без перерегулирования. Система выходит на температуру 150 °C за 50 минут, давление поддерживается на уровне 100 бар до достижения 100 °C, затем повышается до 450 бар. Возмущения компенсируются ПИД-регуляторами.

В целом результаты моделирования можно признать удовлетворительными и использовать полученные коэффициенты регулятора при первичной настройке реальной системы. Внедрение системы позволит сократить длительность технологического цикла на 25%

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамбург, К.С. Методические рекомендации по оформлению домашних заданий,

курсовых работ/проектов и выпускных квалификационных работ. / К.С. Гамбург, Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСиС», 2020.-46с.- Текст : непосредственный.

2. Гамбург, К.С. Учебно-методическое пособие по самостоятельному выполнению курсовой работы на тему: «Расчёт и выбор силовой части автоматизированного электропривода постоянного и переменного тока» по курсу «Электрические машины и электрический привод» для студентов направления подготовки 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств, профиль 01 – Автоматизация технологических процессов и производств (горно-металлургическое производство), для всех форм обучения./ К.С. Гамбург, Старый Оскол, СТИ НИТУ МИСиС, 2020, - 120с. – Текст: непосредственный.

3. Цыганков, Ю.А. Проектирование систем верхнего уровня. Методическое пособие по выполнению практических работ / Ю.А. Цыганков, Д.А. Полещенко, А.В. Фомин. – Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСиС», 2020. – 93 с. – Текст: непосредственный.

.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ КОМПРЕССОРА ИНЕРТНОГО ГАЗА УСТАНОВКИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ФАБРИКИ ОКОМКОВАНИЯ И МЕТАЛЛИЗАЦИИ ОЭМК

Пьяных А.С., студент 4 курса
Научный руководитель — к.т.н., доцент **Полещенко Д.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Процессы металлизации железорудного сырья предъявляют высокие требования к устойчивости работы газового хозяйства и вспомогательного оборудования [3, 6]. Одним из важных элементов установки металлизации является компрессор инертного газа, обеспечивающий циркуляцию и поддержание требуемых параметров газовой среды в технологическом контуре [4]. Надежность его работы оказывает непосредственное влияние на стабильность технологического процесса, безопасность эксплуатации оборудования и энергетическую эффективность производства. Место компрессора инертного газа в общей технологической схеме установки металлизации представлено на рисунке 1.

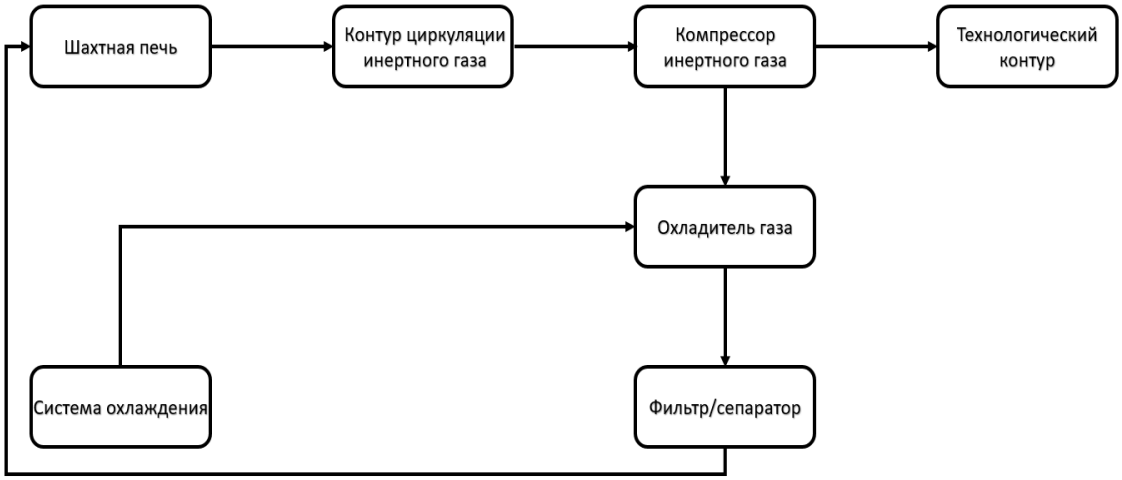


Рис. 1 – Место компрессора инертного газа в технологической схеме установки металлизации

В процессе эксплуатации компрессор подвергается значительным тепловым нагрузкам [2, 4, 5]. Повышение температуры газа на выходе, нагрев масла, подшипниковых узлов и элементов системы охлаждения приводит к ухудшению условий работы агрегата. При выходе температуры за допустимые пределы возрастает износ деталей, ухудшаются смазывающие свойства масла, увеличивается вероятность отказов и снижается общая эффективность работы компрессорной установки [2, 5]. В связи с этим задача оптимизации температурного режима компрессора инертного газа является актуальной как с эксплуатационной, так и с экономической точки зрения.

Объектом исследования в данной работе является компрессор инертного газа установки металлизации. Предметом исследования выступает температурный режим его работы, формирующийся под влиянием технологической нагрузки, параметров охлаждения, состояния системы смазки и условий эксплуатации. Для более наглядного представления контролируемых параметров и основных узлов компрессора как объекта автоматизации разработана структурная схема, приведенная на рисунке 2.

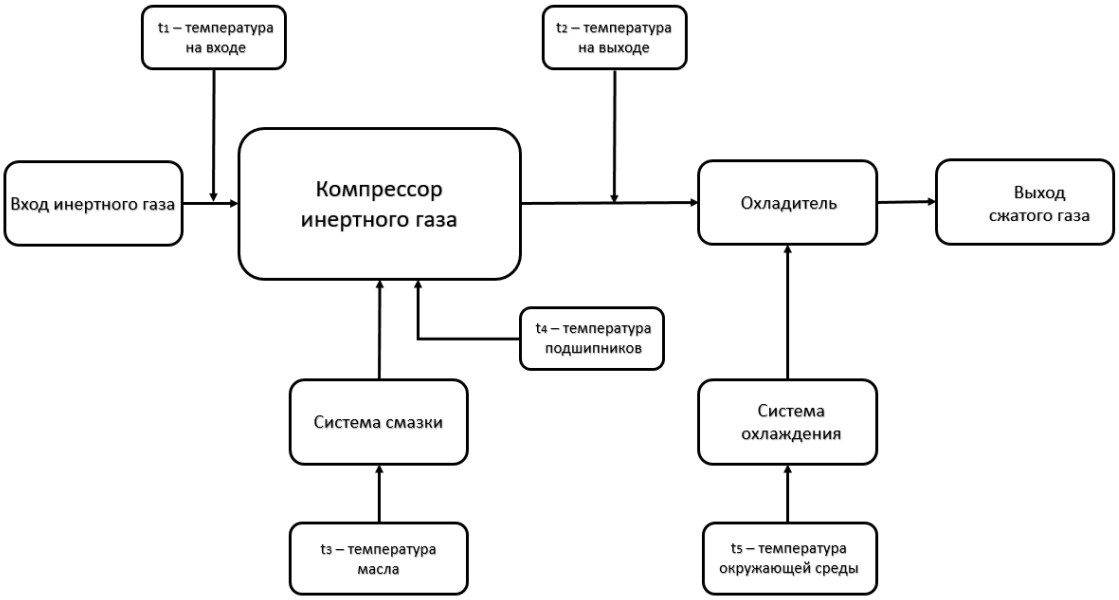


Рис. 2 – Структурная схема компрессора инертного газа как объекта автоматизации

Как видно из рисунка 2, наибольшее значение для оценки теплового состояния оборудования имеют температура газа на входе и выходе компрессора, температура масла, температура подшипниковых узлов, а также температура охлаждающей среды [1, 2, 4, 5]. Совместный анализ этих параметров позволяет более полно оценивать текущее состояние агрегата и своевременно выявлять тенденции к перегреву.

В существующих условиях контроль температурного состояния компрессорного оборудования зачастую ограничивается наблюдением за отдельными локальными параметрами [1, 2, 5]. Такой подход не позволяет в полной мере учитывать взаимосвязь между тепловой нагрузкой, режимом сжатия, условиями охлаждения и состоянием системы смазки. В результате система управления фактически реагирует уже на следствие развивающегося неблагоприятного режима, а не на причины его возникновения. Это снижает эффективность эксплуатации и усложняет своевременное предупреждение аварийных ситуаций [5].

Для повышения надежности работы компрессора требуется переход к комплексной системе автоматического контроля и регулирования температурного режима [1, 2]. Предлагаемая система должна обеспечивать непрерывный сбор информации с датчиков температуры, анализ отклонений от заданных значений, формирование управляющих воздействий на исполнительные механизмы и выдачу предупреждающих сигналов оператору [1]. Функциональная схема такой системы представлена на рисунке 3.

Система управления температурным режимом компрессора реализуется по принципу замкнутого контура автоматического регулирования [1]. На основе заданного значения температуры в блоке сравнения формируется сигнал рассогласования, который поступает на регулятор температуры. Регулятор вырабатывает управляющее воздействие на исполнительные механизмы системы охлаждения. Под действием возмущающих факторов изменяется тепловое состояние компрессора инертного газа и связанных с ним узлов. Текущие значения температур контролируются датчиками T1–T5, после чего поступают в блок анализа температурных сигналов и по каналу обратной связи возвращаются в блок сравнения [1, 4]. Такая структура позволяет своевременно выявлять отклонения температурного режима и формировать управляющие воздействия, направленные на его стабилизацию.

В качестве регулирующих воздействий могут использоваться изменение расхода охлаждающей воды, управление работой вентилятора системы охлаждения, а также

корректировка режима загрузки компрессора [1, 2, 5]. Такой подход позволяет не только поддерживать допустимый температурный режим, но и предотвращать развитие перегрева на ранней стадии. В отличие от обычной сигнализации по предельным значениям температуры, предлагаемая система обеспечивает более гибкое и эффективное управление тепловым состоянием агрегата.

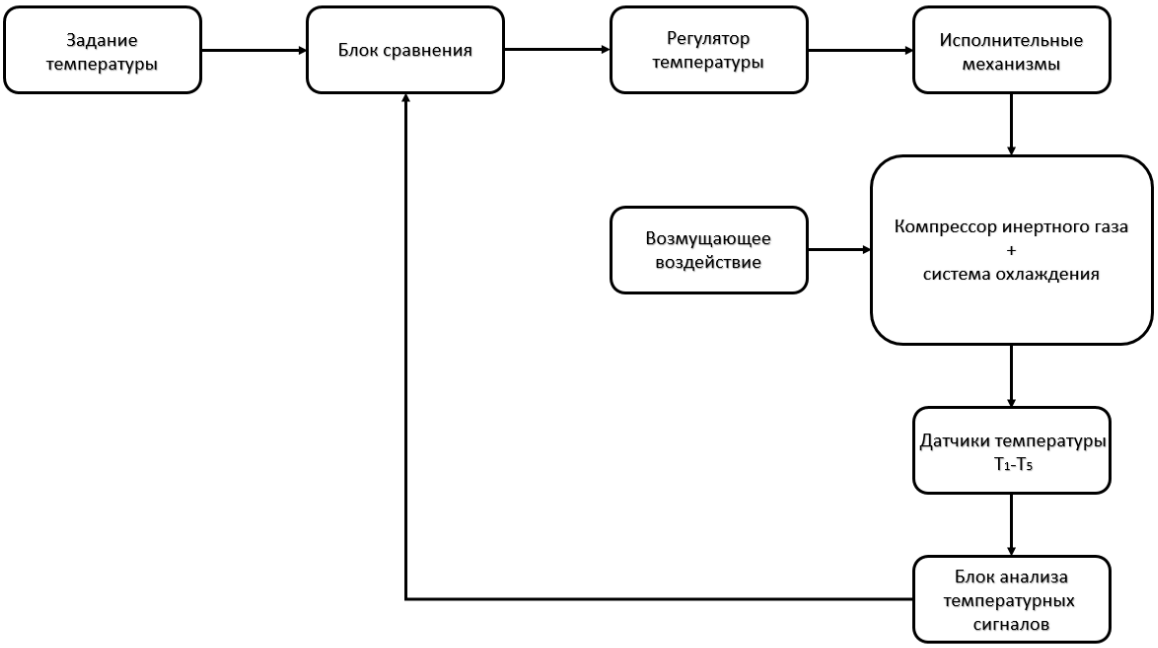


Рис. 3 – Функциональная схема системы управления температурным режимом компрессора инертного газа

Практическая реализация предложенного подхода позволит повысить надежность работы компрессора инертного газа, улучшить условия эксплуатации узлов трения и системы смазки, снизить вероятность термически обусловленных отказов и повысить уровень промышленной безопасности установки металлизации [1, 2, 5]. Кроме того, за счет более рационального управления охлаждением и нагрузкой компрессора может быть достигнуто снижение энергетических затрат [1, 2].

Таким образом, оптимизация температурного режима работы компрессора инертного газа установки металлизации представляет собой актуальную инженерную задачу, решение которой связано с совершенствованием системы автоматического контроля и регулирования теплового состояния оборудования. Использование комплексного подхода к анализу температурных параметров и внедрение автоматизированных алгоритмов управления позволит обеспечить более устойчивую, надежную и безопасную работу компрессорной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев, А. А. Регулирование и автоматизация компрессоров: учебное пособие. – СПб., 2016.
2. Компрессорные и насосные установки: учебник. – М.: Академия, 2007.
3. Ерастов, В. В. Подготовка и переработка минерального сырья. – 2005.
4. ГОСТ 28567–90. Компрессоры. Термины и определения.
5. ПБ 03-581-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов.
6. Добыча и обогащение железных руд: информационно-технический справочник.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОЖАРНОЙ СТАНЦИИ

Расстрыгин И.В., студент 4 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Моторина Н.П.**
Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В работе рассмотрена насосная станция пожаротушения для многофункционального образовательного комплекса. В проекте планируется использование центробежных насосов, адаптированных по доступности применения, обслуживания и ремонта. Одновременно предусмотрено улучшение системы управления электродвигателями (ЭД) блочных центробежных насосов. На основании данных о напоре и производительности требуемых насосных агрегатов выбран насос Wellmix модель NBW 125-100-200, предназначенный для перекачивания чистой воды и жидкостей, не оказывающих химически агрессивного воздействия на конструктивные материалы насоса. Это стандартная одноступенчатая модель с горизонтальным расположением вала, осевыми входными и радиальным напорным патрубками [1].

Области применения:

– системы повышения давления в коммунальном водоснабжении;
– системы повышения давления в производственных зданиях;
– системы водоподготовки;
– системы пожаротушения;
– перекачивание жидкости в системах отопления, кондиционирования, вентиляции;
– системы орошения;
– циркуляция в климатических системах

В предварительных расчетах была определена мощность электродвигателя и выполнен выбор двигателя и самого насоса. В расчетах типоразмера двигателя учитывались возможные изменения производительности и смещения рабочей точки, которые могут привести к увеличению потребляемой мощности, а также отсутствие особых требований заказчика к эксплуатации, коэффициент запаса мощности, равный 1,15 (для мощностей от 7,5 до 40 кВт). Получена расчетная мощность 33,871 кВт. Исходя из показателей производительности, напора, частоты вращения и мощности был выбран двигатель мощностью 37 кВт[1-3].

На рисунке 1 приведен внешний вид выбранного насоса Wellmix NBW125-100-200.

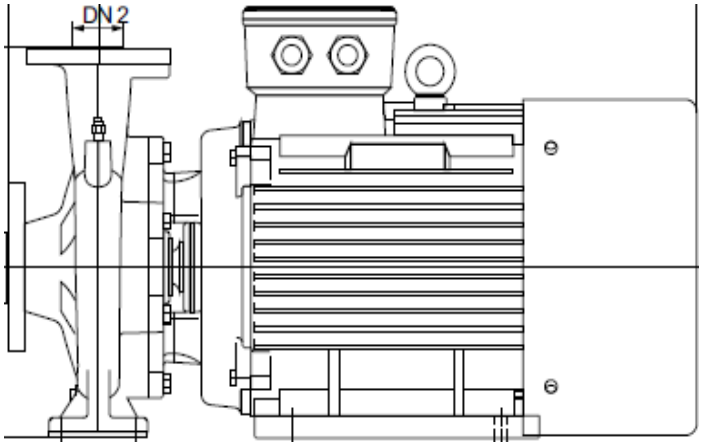


Рис. 1 – Внешний вид насоса Wellmix NBW125-100-200

В таблице 1 приведены технические характеристики центробежного насоса Wellmix NBW 125-100-200 гидравлической и электрической части [1].

Таблица 1 – Технические характеристики насоса и электродвигателя NBW 125-100-200

Гидравлический КПД, %	0,85
Напор, м	44
Производительность, $м^3$/ч	208
Номинальная мощность, кВт	37
Частоты вращения, об/мин	2900
Напряжение питания, В	380
Частоты сети, Гц	50
КПД, %	92,5
cos φ	0,89
$M_К/M_Н$	3
$M_П/M_Н$	2,7
$I_П/I_Н$	7,6
Момент инерции, кг·$м^2$	0,14
Степень защиты	IP55
Режим работы	S1(продолжительный)
Класс изоляции	F

Для получения системы частотно-регулируемого асинхронного электропривода (ПЧ-АД) предварительно составляется модель двигателя и выполняется расчет параметров схемы замещения двигателя. Учитывая паспортные данные и режимы работы электропривода насоса, получены следующие параметры: активные сопротивления статора и ротора (R_1 , R_2'); значения индуктивностей цепи статора, ротора и ветви намагничивания (L_1 , L_2', L_m). Такие значения параметров необходимы для: получения и оценки пусковых токов и моментов, настройки системы управления электроприводом, моделирования переходных процессов в частотно-регулируемых электроприводах[2].

Для моделирования в системе MATLAB/Simulink необходимо также знать и номинальную полную потребляемую мощность двигателя.

$$\boxed{S_H = \frac{P_H}{\cos\varphi \cdot \eta}}. \qquad (1)$$

На рисунке 2 представлены введенные параметры двигателя для построения модели прямого пуска двигателя. Выполнено моделирование в системе MATLAB/Simulink. Получена модель прямого пуска двигателя и графики переходных процессов при пуске. Приведен график скорости ротора (рис.3), полученный при прямом пуске асинхронного двигателя. Полученные данные сравниваем с параметрами двигателя. Номинальное значение (расчетное значение) частоты вращения ротора 2900 об/мин, номинальная скорость вращения ротора равна 303,68 рад/с (номинальный ток 64,87 А; номинальный момент 121,83 Н·м). Полученное по графику значение скорости ротора составляет 304,6 рад/с. Что дает возможность определить погрешность порядка 0,3 %. Аналогично были проанализированы полученные величины тока статора, электромагнитного момента. Полученные результаты могут дать основание для выводов об адекватности модели двигателя.

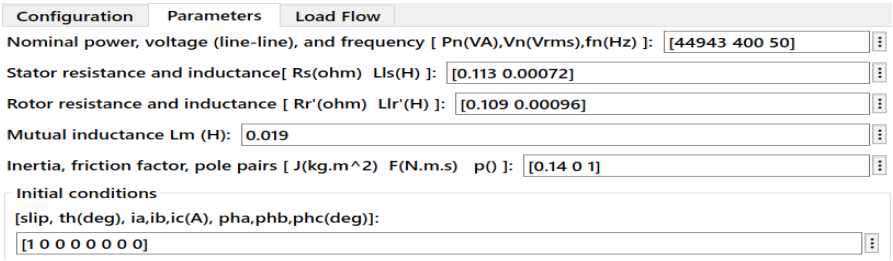


Рис. 2. – Параметры двигателя насоса для модели прямого пуска

На рисунке 3 приведен график скорости ротора, полученный при прямом пуске асинхронного двигателя.

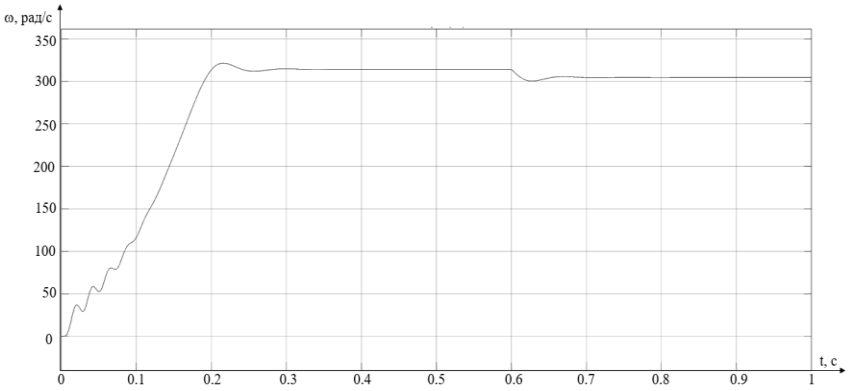


Рис. 3 – График скорости ротора при прямого пуска асинхронного двигателя

Однако, на графике прямого пуска имеются значительные колебания скорости вращения (всплески пускового тока, электромагнитного момента двигателя на графиках тока и момента), что может привести к ненормальным и даже аварийным ситуациям в работе.

В процессе проектирования системы пожаротушения комплекса для исполнительных механизмов – центробежных насосов выполнена автоматизированная система управления электроприводами насосного оборудования, имеющая максимальную энергоэффективность, производительность и функционирование в соответствии с производственными стандартами. Ключевым элементом системы выступает насосная станция пожаротушения, состоящая из двух блочно-модульных центробежных насосов модели Wellmix NBW 125-100-200, интегрированных в общую сеть водоснабжения. Насосы предназначены для бесперебойной подачи воды, необходимой для внутреннего и внешнего пожаротушения.

В качестве управляющего устройства выбран преобразователь частоты (ПЧ), осуществляющий непрерывный мониторинг состояния электродвигателя, параметров электросети в реальном времени и комплексную защиту. Важно обеспечить мгновенный запуск насоса по первому сигналу, исключить вероятность ложных срабатываний и аварийных ситуаций, а также непрерывный контроль за состоянием оборудования и др.

Управление асинхронным двигателем насоса выбирается по системе ПЧ-АДК со скалярным законом регулирования параметров. При скалярном управлении АД поддерживается постоянное отношение напряжения к частоте (U/f^2) на всем диапазоне скоростей, что гарантирует сохранение постоянного критического момента, который не зависит от частоты питания. Выбран преобразователь частоты (ПЧ) ESQ -760 компании «Элком». Данное устройство демонстрирует широкую функциональную гибкость: оно успешно работает как с общепромышленной нагрузкой, так и в специализированном режиме для насосного оборудования[3].

В рамках проектируемой системы реализована схема с персональным преобразователем частоты для каждого насоса. Подобная конфигурация обладает существенными достоинствами: она позволяет существенно оптимизировать структуру системы управления, сократить число используемых исполнительных механизмов и заметно повысить общую надежность комплекса. Предложенное техническое решение обеспечивает создание высокоэффективной и адаптивной системы управления насосным оборудованием. Такая система способна гибко подстраиваться под разнообразные рабочие сценарии и гарантировать максимально эффективную работу каждого насосного агрегата[3].

Предложенная система управления центробежными блочно - модульными насосами реализует следующий порядок работы:

• В автоматическом режиме на преобразователь частоты поступает сигнал от внешних датчиков на срабатывание пожарной сигнализации. Алгоритм выбирает насос для запуска, исходя из показателя наработки моточасов: приоритет отдаётся агрегату с наименьшим их количеством.

• Работа насосов организована по схеме поочерёдного подключения: один агрегат функционирует, второй пребывает в резерве. В случае аварии на действующем насосе система оперативно переключается на резервный — соответствующий преобразователь частоты запускает второй насос.

• Кроме основного режима, доступна опция каскадной работы, которую можно включить при необходимости. Если давление в системе опускается ниже установленного порога, спустя заданный промежуток времени к работе подключается второй насос — он начинает функционировать параллельно с первым. Такая схема позволяет эффективно нарастить давление в трубопроводе. Контроль давления выполняется посредством преобразователей частоты, которые корректируют скорость вращения электродвигателей насосов. Когда давление превышает установленный предел, второй насос автоматически отключается.

• При превышении заданного уровня давления насосная станция переходит в режим ожидания — подача электропитания на двигатели насосов прекращается.

• Помимо автоматического управления, система поддерживает ручной запуск электроприводов через частотный преобразователь.

По итогам проведенных расчетов выполнено моделирование системы ПЧ-АДК автоматизированного электропривода в пакете MATLAB/Simulink. В модель асинхронного привода с использованием скалярного управления и пространственно-векторной широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) входят: формирователь закона регулирования, пространственно-векторный модулятор, трехфазный диодный выпрямитель, сглаживающий конденсатор, трехфазный инвертор и асинхронный двигатель.

Электродвигатель центробежного насоса разгоняется до номинальной скорости вращения, работает с номинальной нагрузкой и начинает торможение. В процессе моделирования работы можно сделать выводы о соответствии предъявленным требованиям работы рекомендуемой системы ПЧ-АДК насоса системы пожаротушения[2, 3].

Вывод: В предложенном решении по модернизации электропривода насосов системы пожаротушения учебного комплекса выполняется устранение недостатков существующей системы, улучшение управления электроприводом, повышение надежности и качества работы системы. В результате внедрения электропривода с асинхронным двигателем и преобразователем частоты при выбранном виде управления возможна надежная работа насосного оборудования пожаротушения в случаях чрезвычайных ситуаций, ощутимое снижение потерь электроэнергии, бережная эксплуатация силового оборудования, увеличение сроков эксплуатации и снижение аварийного времени простоя [2, 3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика расчета электродвигателя для насоса [Электронный ресурс]. - https://ence-pumps.ru/podbor_raschet_nasosov/ (дата обращения: 14.10.2025).

2. Мощинский Ю.А., Беспалов В.Я., Кирякин А.А.Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным.– Электричество, 1998, № 4.

3. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. — М.: Академия, 2006. – 265 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА СПОРТИВНЫХ НОРМАТИВОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ

Ребенок Л.А., студент 4 курса
Научный руководитель – к.п.н, доцент **Симонова А. Г.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальныйисследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В современных условиях ведения учета успеваемости студентов в рамках дисциплины «Физическая культура и спорт» одной из ключевых проблем является отсутствие единой автоматизированной системы фиксации и анализа результатов сдачи спортивных нормативов. Традиционные методы учета с использованием бумажных журналов и электронных таблиц Excel требуют значительных временных затрат и не позволяют оперативно получать информацию об истории успеваемости студента, что негативно сказывается на качестве педагогического процесса.

Физкультурно-оздоровительный комплекс (ФОК) СТИ НИТУ «МИСИС» является важным структурным подразделением, обеспечивающим проведение учебных занятий по физической культуре и сдачу спортивных нормативов студентами [1].

Главными преимуществами использования автоматизированной системы учета спортивных нормативов являются:

– Скорость обработки данных. Система способна обрабатывать большие объемы информации и предоставлять результат в режиме реального времени, сокращая время обработки одного результата с 15–20 минут до 2–3 минут.

– Оперативный доступ к истории успеваемости. Преподаватель получает мгновенный доступ к истории всех попыток сдачи, данным о пересдачах и динамике результатов, что позволяет принимать обоснованные решения о зачете.

– Автоматизация отчетности. Система автоматически формирует сводные ведомости успеваемости, отчеты для кафедры и деканата, а также списки студентов, не выполнивших нормативы.

– Прозрачность для студентов. Студенты получают доступ к своим результатам, могут отслеживать прогресс и получать персонализированные рекомендации.

– Снижение административной нагрузки. Преподаватель освобождается от рутинных операций по поиску и составлению разрозненных данных.

Решение о разработке автоматизированной системы учета спортивных нормативов было принято для ФОК СТИ НИТУ «МИСИС». Основными бизнес-процессами, требующими автоматизации, являются: организация и проведение сдачи нормативов, учет и хранение результатов, контроль успеваемости и формирование отчетности, взаимодействие со студентами.

Организационная структура ФОК СТИ НИТУ «МИСИС» представлена на рисунке 1 [2].

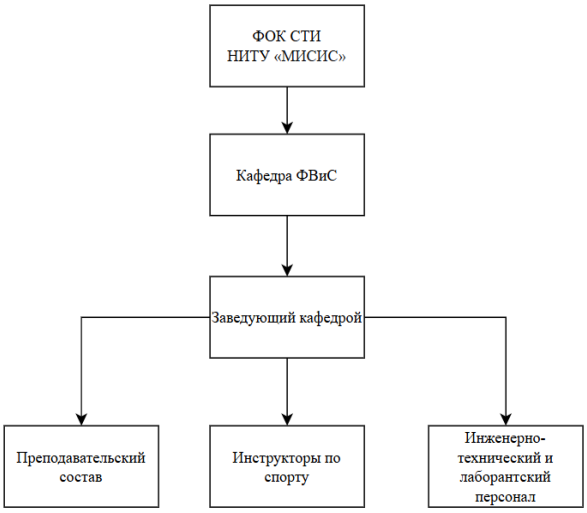


Рис. 1 – Организационная структура ФОК СТИ НИТУ «МИСИС»

Рассмотрим бизнес-процесс «Учет результатов сдачи нормативов», который включает в себя процессы организации, фиксации, хранения и анализа результатов.

В настоящее время при сдаче норматива преподаватель вручную работает с бумажными журналами или электронными таблицами Excel. В текущей системе отсутствует информация об успеваемости студента, поэтому преподавателю приходится просматривать другие журналы, архивные записи и отдельные ведомости. Контекстная диаграмма данного процесса представлена на рисунке 2.

Рис. 2 – Контекстная диаграмма процесса «Учет результатов сдачи нормативов»

В результате декомпозиции (рисунок 3) были выделены следующие блоки:

– Определение студента;
– Поиск истории успеваемости и предыдущих попыток;
– Фиксация текущего результата сдачи;
– Анализ динамики и принятие решения о зачете;
– Внесение итогового результата в ведомость;
– Формирование отчетности.

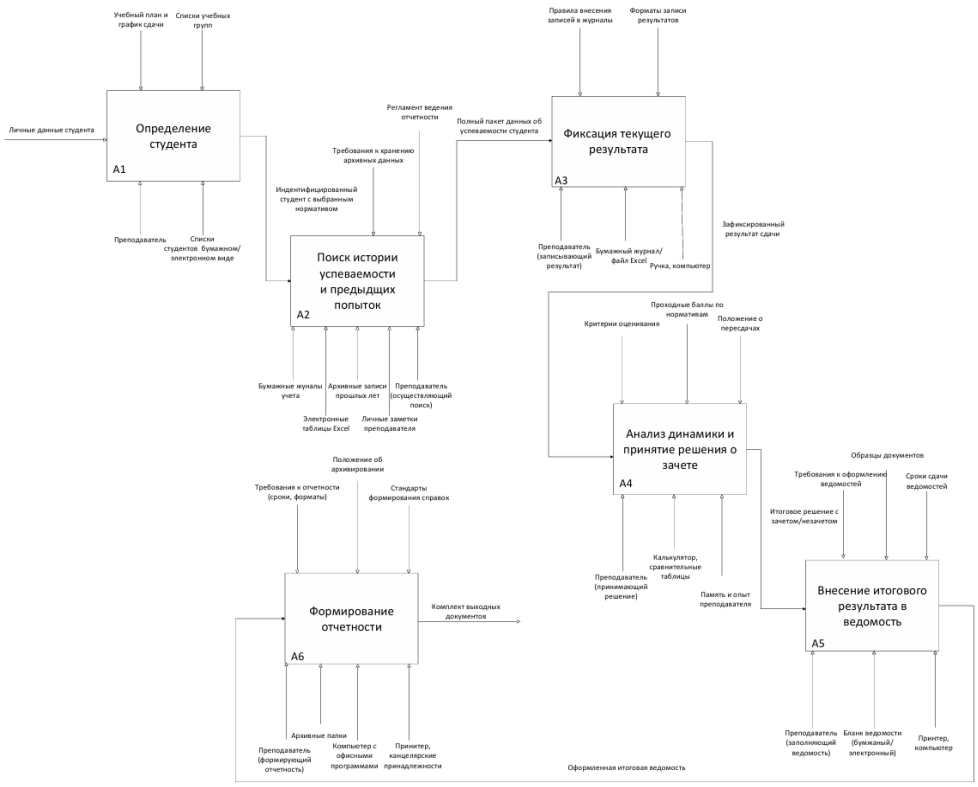


Рис. 3 – Декомпозиция процесса учета результатов сдачи нормативов

Для того чтобы сократить время обработки результатов и повысить качество учета успеваемости, было принято решение разработать автоматизированную информационную систему учета спортивных нормативов.

Основная проблема при разработке информационной системы для ФОК заключается в необходимости надежного хранения и обработки разнородных данных: спортивных результатов, посещаемости студентов. При этом требуется соблюдение баланса между безопасностью, производительностью и экономической эффективностью.

В качестве критериев выбора СУБЛ были определены: надежность и целостность данных, безопасность, производительность и масштабируемость, гибкость и удобство разработки, а также стоимость владения.

Для сравнения рассматривались три системы управления базами данных: реляционные MySQL и PostgreSQL, а также документно-ориентированная MongoDB.

На основе консолидированного мнения экспертов каждой альтернативе были присвоены баллы по 10-бальной шкале по каждому из критериев.

Результаты оценки:

– Надежность и целостность данных: PostgreSQL получил наивысшую оценку (10 баллов) благодаря строгой поддержке ACID и механизму WAL. MySQL (7 баллов) уступает из-за зависимости от движка InnoDB. MongoDB (6 баллов) имеет ограниченную поддержку мультидокументных транзакций.

– Безопасность PostgreSQL также лидирует (10 баллов) за счет развитой ролевой модели и шифрования. MongoDB (8 баллов) и MYSQL (7 баллов) также обеспечивают достаточных уровень защиты, но уступают в гибкости настроек.

– Производительность и масштабируемость: MongoDB показала максимальный результат (10 баллов) благодаря встроенному горизонтальному масштабированию. MySQL (9 баллов) демонстрирует высокую скорость чтения, но ограничена в шардинге. PostgreSQL (8 баллов) эффективен для сложных аналитических запросов.

– Гибкость и удобство разработки: MongoDB (10 баллов) лидирует за счет динамической схемы. PostgreSQL (9 баллов) предлагает богатые возможности расширения. MySQL (7 баллов) уступает в поддержке пользовательских типов.

– Стоимость владения: PostgreSQL и MySQL (10 и 9 баллов) предпочтительнее благодаря открытым лицензиям. MongoDB (7 баллов) требует более высокой квалификации администраторов.

С применением метода анализа иерархий (МАИ) была построена иерархическая структура задачи (рисунок 4). В результате расчетов глобальных приоритетов оптимальной системой признана MySQL, обеспечивающая наилучший баланс характеристик для условий ФОК СТИ НИТУ «МИСИС».

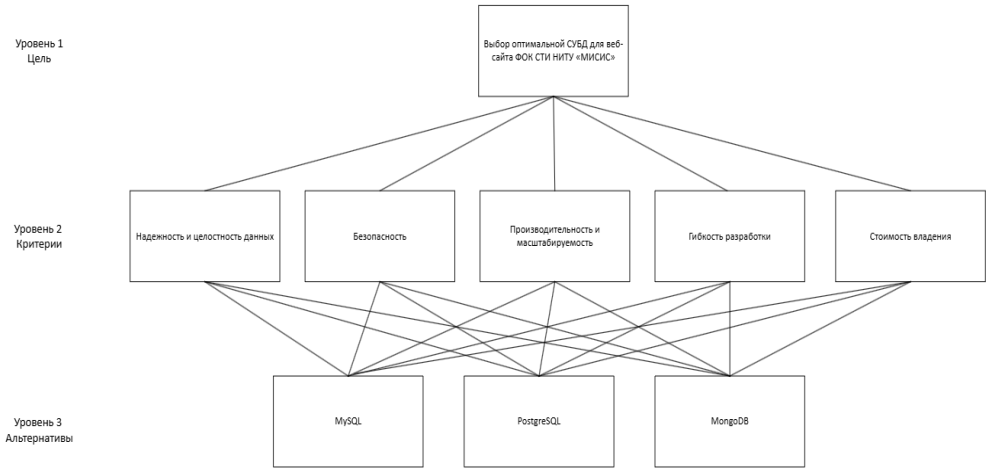


Рис. 4 – Иерархическая структура задачи выбора СУБД

Таким образом, на основе проведенного анализа и расчетов методом МАИ оптимальной системой управления базами данных для разработки веб-сайта ФОК СТИ НИТУ «МИСИС» выбрана MySQL. Данное решение обеспечивает необходимое сочетание надежности, безопасности, производительности и экономической эффективности в условиях образовательного учреждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайт СТИ НИТУ «МИСИС» [Электронный ресурс] //URL: https://sf.misis.ru
2. Положение о кафедре физического воспитания и спорта (ФВиС) факультета автоматизации и информационных технологий [Электронный ресурс] //URL:Pologenie_organ_upravl_structur_21_Kafedra_FVIS.pdf

РАЗРАБОТКА ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДБОРА ФЛОРИСТИЧЕСКОЙ КОМПОЗИЦИИ

Ребенок Л.А., Рогозина П. А., студенты 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Основина О.Н.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В современном мире, где флористика и фитодизайн играют важную роль в оформлении пространства и событий, необходимо постоянное совершенствование подходов к систематизации знаний о растениях и материалах. Большой объем накопленной информации о сортах, оттенках, стойкости и аллергенности цветов, а также высокая скорость появления новых гибридов предъявляют все более жесткие требования к системам, предназначенным для информационной поддержки флориста. Одним из важнейших аспектов флористической деятельности является разработка и проверка сочетаемости элементов композиции, определяющих цветовую гармонию, совместимость видов по стойкости, а также подбор упаковки и ленты. Однако, процесс подбора и проверки сочетаний до сих пор остается трудоемким и подверженным ошибкам. В данной статье рассмотрен базирующийся на онтологии подход к формализации флористических знаний, обеспечивающий представление и интерпретацию информации в виде фактов.

Онтологии представляют собой формальное описание структуры и отношений между понятиями и объектами в определенной области знаний. Они используются для систематизации и организации данных, а также для обеспечения их интероперабельности, то есть возможности взаимодействия между различными информационными системами [1].

Актуальность использования онтологического подхода в формировании флористической композиции обусловлена возможностью обеспечения:

- унификации данных о цветах и материалах, описывая их в едином формате, что упрощает их обработку и анализ;
- интеграции данных из разных источников (таблиц сочетаемости, каталогов растений), обеспечивая их совместимость и взаимодействие;
- семантической аннотации данных, что позволяет машинам обрабатывать и понимать информацию;
- решения задач классификации, распознавания образов и машинного обучения;
- обмена знаниями между разными флористами и организациями, упрощая понимание и использование информации;
- поддержки принятия решений, предоставляя структурированные и формализованные данные о предметной области.

Таким образом, онтологии актуальны в современном мире, где информация становится все более разнообразной и сложной. Они являются важным инструментом для организации, систематизации и интеграции данных.

Прежде чем глубже вникать в тему автоматизации, важно понять, что флористическая совместимость – это набор правил и характеристик, определяющих, насколько гармонично различные цветы и материалы могут сочетаться друг с другом в одной композиции. Она является основным ориентиром для флористов при создании букетов [2].

Сегодня требования к флористическому искусству становятся все более высокими. Композиции должны быть не только эстетичными и соответствовать современным трендам, но и учитывать индивидуальные потребности заказчиков (например, гипоаллергенность, стойкость). В этом контексте автоматизация процесса подбора и проверки флористических композиций становится необходимостью.

Применение Protégé и онтологий в автоматизации подбора флористических композиций может значительно упростить и ускорить процесс. Программа Protégé – это мощный инструмент для разработки онтологий, который может быть эффективно применен

во флористике для автоматизации процесса. Программное обеспечение позволяет создавать структурированные модели растений и материалов, учитывая различные аспекты: от цвета и стойкости до аллергенности и совместимости видов. Это позволяет автоматически рекомендовать подходящие сочетания, а также обеспечивать их адаптацию в соответствии с изменяющимися требованиями.

Одним из ключевых преимуществ применения онтологий является возможность автоматизации процесса проверки соответствия композиции установленным правилам сочетаемости. Программное обеспечение может проводить анализ на предмет наличия необходимых компонентов, корректности цветовых сочетаний и соответствия требованиям по стойкости или аллергенности.

Таким образом, автоматизация процесса подбора и проверки флористических композиций с использованием программы Protégé и онтологий представляет собой важный шаг в совершенствовании флористических практик. Она позволяет сократить временные затраты на создание букетов, повысить их качество и гибкость, а также обеспечить их соответствие современным требованиям.

Для определения области и масштаба создаваемой онтологии был сформирован список вопросов, на которые она должна ответить:

1. Оценка обеспеченности формирования требуемой цветовой гармонии различными видами цветов, а именно: контрастные, родственные, монохромные сочетания.
2. Оценка обеспеченности/соответствия всех видов цветов в композиции требованиям по аллергенности и стойкости.
3. Оценка степени соответствия материалов (упаковка, лента) цветовой гамме цветов композиции.
4. Оценка соответствия цвета ленты и упаковки цвету выбранного цветка.

В основу разработанной онтологии легли данные из открытых источников: флористических справочников, рекомендаций по совместимости, а также общепринятых правил цветовой гармонии.

На первом этапе создания онтологической модели была построена иерархия классов, представленная на рисунке 1.

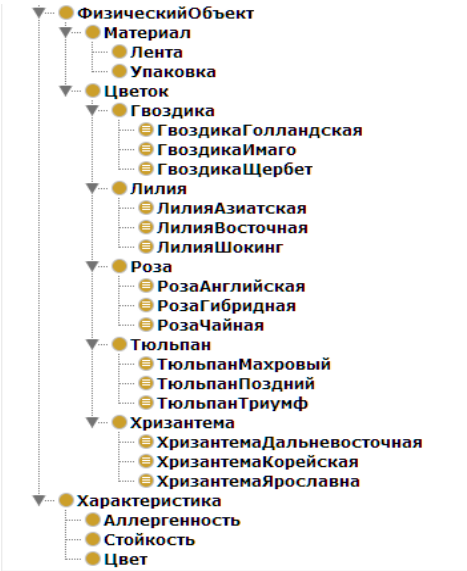


Рис. 1 – Иерархия классов онтологии

Каждый класс был наполнен индивидами, представляющими конкретные объекты разрабатываемой онтологии.

При построении онтологии использовался нисходящий процесс, так как можно явно выделить общие понятия, соответствующие, например, типам объектов как

ФизическийОбъект, Характеристика, которые потом были разделены на более конкретные понятия – подклассы (Цветок, Материал, Цвет, Стойкость, Аллергенность) и индивиды соответственно (ЛилияАзиатскаяОранжевая, ТюльпанМахровыйКрасный, ЛентаГолубая и т. д.) (рис. 2). В окне описания свойства для каждого индивида в разделе Object property assertions с помощью логических правил были представлены фактографические данные. В частности, значение цвета, стойкости и аллергенности для каждого конкретного цветка (рис. 2).

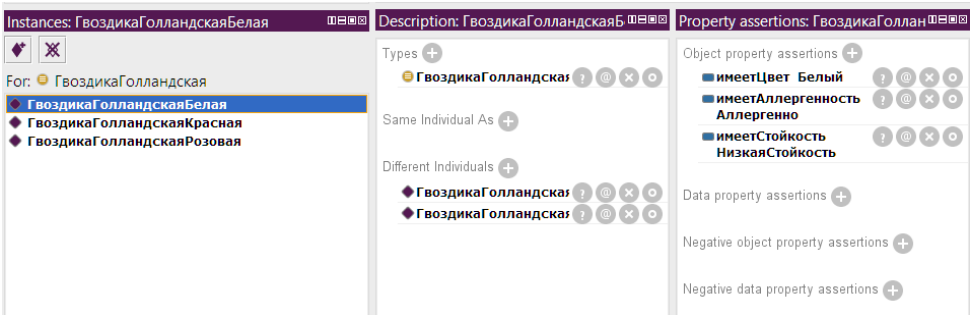


Рис. 2 – Экземпляры онтологии и наполнение их свойств фактами

Помимо классов и индивидов определены объектные свойства, описывающие отношения между индивидами классов, отображенные на рисунке 3. Для задания ограничений свойств, увеличения точности и согласованности данных для каждого свойства определена область определения (Domains) и область значения (Ranges).

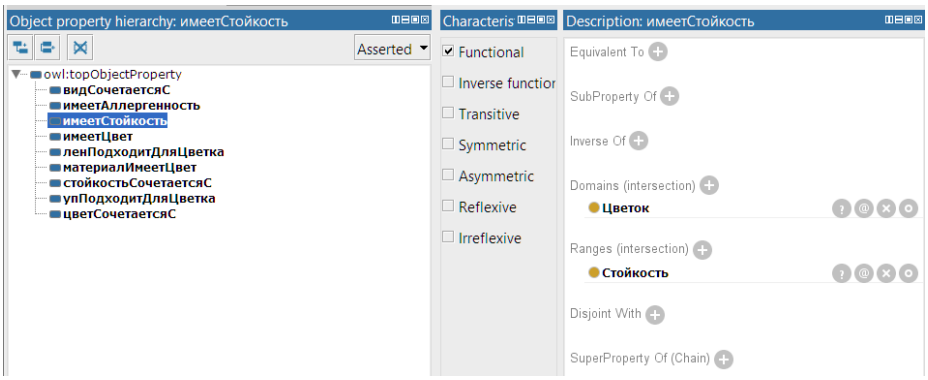


Рис. 3 – Объектные свойства онтологии

Свойство «имеетЦвет» используется для описания связи между цветком (или материалом) и его цветом. Например, можно утверждать, что определенная гвоздика «имеет цвет» розовый. Это помогает понять, как цвет объекта связан с его идентичностью. Такой же логикой обладают свойства «имеетСтойкость», «материалИмеетЦвет» и «имеетАллергенность».

Свойство «цветСочетаетсяС» используется для описания того, какие цвета гармонируют друг с другом. Например, красный цвет «сочетается» с белым, розовым, оранжевым. Это помогает понять, какие цветовые пары допустимы в композиции. Такой же логикой обладают все остальные свойства.

Для автоматизации логических выводов в онтологии были разработаны SWRL правила. Например, правила проверки сочетаемости видов с учётом цвета и стойкости, изображённые на рисунке 4.

Active Ontology × Entities × Individuals by class × DL Query × SWRLTab ×

Name	Body
Гвоздика Гвоздика	Гвоздика(?г1) ^ Гвоздика(?г2) ^ имеетЦвет(?г1, ?цвГ1) ^ имеетЦвет(?г2, ?цвГ2) ^ цветСочетаетсяС(?цвГ1, ?цвГ2) ^ имеетСтойкость(?г1, ?стГ1) ^ имеетСтойкость(?г2, ?стГ2) ^ стойкостьСочетаетсяС(?стГ...
Гвоздика Лилия	Гвоздика(?г) ^ Лилия(?л) ^ имеетЦвет(?г, ?цвГ) ^ имеетЦвет(?л, ?цвЛ) ^ цветСочетаетсяС(?цвГ, ?цвЛ) ^ имеетСтойкость(?г, ?стГ) ^ имеетСтойкость(?л, ?стЛ) ^ стойкостьСочетаетсяС(?стГ, ?стЛ) -> видС...
Гвоздика Роза	Гвоздика(?г) ^ Роза(?р) ^ имеетЦвет(?г, ?цвГ) ^ имеетЦвет(?р, ?цвР) ^ цветСочетаетсяС(?цвГ, ?цвР) ^ имеетСтойкость(?г, ?стГ) ^ имеетСтойкость(?р, ?стР) ^ стойкостьСочетаетсяС(?стГ, ?стР) -> видСоч...
Гвоздика Хризантема	Гвоздика(?г) ^ Хризантема(?х) ^ имеетЦвет(?г, ?цвГ) ^ имеетЦвет(?х, ?цвХ) ^ цветСочетаетсяС(?цвГ, ?цвХ) ^ имеетСтойкость(?г, ?стГ) ^ имеетСтойкость(?х, ?стХ) ^ стойкостьСочетаетсяС(?стГ, ?стХ) -> ...
Лента	Лента(?л) ^ Цветок(?ц) ^ материалИмеетЦвет(?л, ?цвЛ) ^ имеетЦвет(?ц, ?цвЦ) ^ цветСочетаетсяС(?цвЛ, ?цвЦ) -> ленПодходитДляЦветка(?л, ?ц)
Лилия Лилия	Лилия(?л1) ^ Лилия(?л2) ^ имеетЦвет(?л1, ?цвЛ1) ^ имеетЦвет(?л2, ?цвЛ2) ^ цветСочетаетсяС(?цвЛ1, ?цвЛ2) ^ имеетСтойкость(?л1, ?стЛ1) ^ имеетСтойкость(?л2, ?стЛ2) ^ стойкостьСочетаетсяС(?стЛ...
Лилия Роза	Лилия(?л) ^ Роза(?р) ^ имеетЦвет(?л, ?цвЛ) ^ имеетЦвет(?р, ?цвР) ^ цветСочетаетсяС(?цвЛ, ?цвР) ^ имеетСтойкость(?л, ?стЛ) ^ имеетСтойкость(?р, ?стР) ^ стойкостьСочетаетсяС(?стЛ, ?стР) -> видСоч...
Лилия Тюльпан	Лилия(?л) ^ Тюльпан(?т) ^ имеетЦвет(?л, ?цвЛ) ^ имеетЦвет(?т, ?цвТ) ^ цветСочетаетсяС(?цвЛ, ?цвТ) ^ имеетСтойкость(?л, ?стЛ) ^ имеетСтойкость(?т, ?стТ) ^ стойкостьСочетаетсяС(?стЛ, ?стТ) -> вид...
Роза Роза	Роза(?р1) ^ Роза(?р2) ^ имеетЦвет(?р1, ?цвР1) ^ имеетЦвет(?р2, ?цвР2) ^ цветСочетаетсяС(?цвР1, ?цвР2) ^ имеетСтойкость(?р1, ?стР1) ^ имеетСтойкость(?р2, ?стР2) ^ стойкостьСочетаетсяС(?стР1, ?ст...
Тюльпан Тюльпан	Тюльпан(?т1) ^ Тюльпан(?т2) ^ имеетЦвет(?т1, ?цвТ1) ^ имеетЦвет(?т2, ?цвТ2) ^ цветСочетаетсяС(?цвТ1, ?цвТ2) ^ имеетСтойкость(?т1, ?стТ1) ^ имеетСтойкость(?т2, ?стТ2) ^ стойкостьСочетаетсяС(?ст...
Упаковка	Упаковка(?у) ^ Цветок(?ц) ^ материалИмеетЦвет(?у, ?цвУ) ^ имеетЦвет(?ц, ?цвЦ) ^ цветСочетаетсяС(?цвУ, ?цвЦ) -> упПодходитДляЦветка(?у, ?ц)
Хризантема Хризантема	Хризантема(?х1) ^ Хризантема(?х2) ^ имеетЦвет(?х1, ?цвХ1) ^ имеетЦвет(?х2, ?цвХ2) ^ цветСочетаетсяС(?цвХ1, ?цвХ2) ^ имеетСтойкость(?х1, ?стХ1) ^ имеетСтойкость(?х2, ?стХ2) ^ стойкостьСочетае...

Рис. 4 – Набор SWRL правил

Правила позволяют комплексно подходить к вопросам сочетаемости. Например, если у гвоздики и розы сочетаются цвета и совместимы показатели стойкости, правило автоматически устанавливает между ними связь «видСочетаетсяС».

Для схематичного отображения онтологии в программе Protégé используется интегрированный инструмент OntoGraf, который позволяет визуализировать онтологию в виде графа, помогает пользователям лучше понимать структуру и связи между классами, свойствами и экземплярами. OntoGraf получившейся онтологии представлен на рисунке 5.

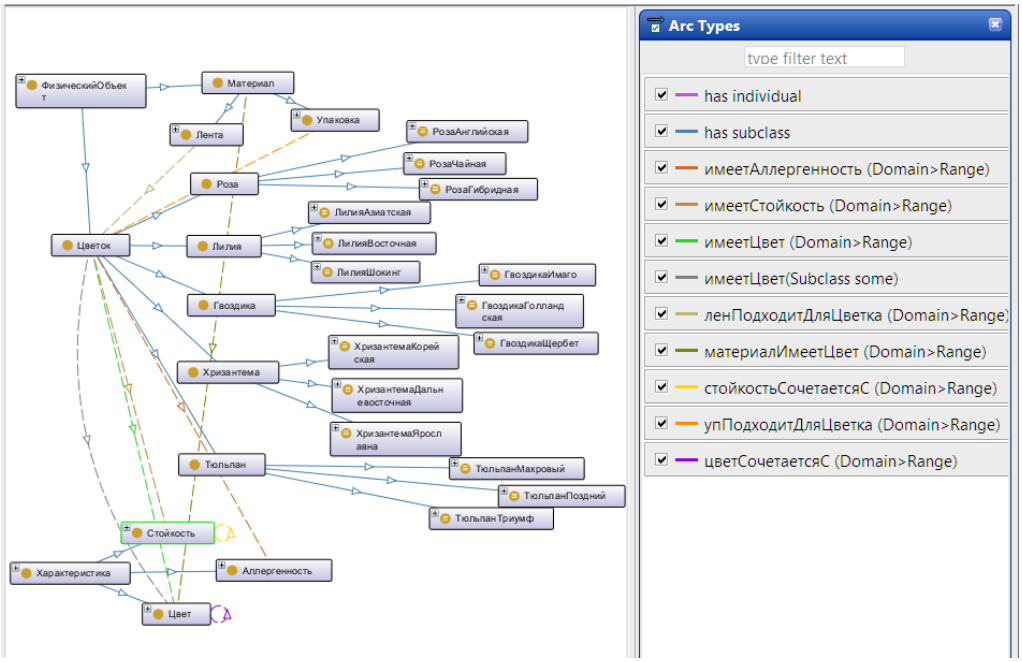


Рис. 5 – Онтологический граф (Ontograf)

Для того, чтобы посмотреть результат работы готовой онтологии, необходимо запустить Reasoner – это инструмент, позволяющий автоматически выполнять выводы на основе представленных в онтологии знаний и фактов, обнаруживать скрытые или неявные знания, выполнять классификацию, проверять созданную модель на противоречивость. Результаты работы Reasoner отображаются на желтом фоне. Пример работы Reasoner представлен на рисунке 6.

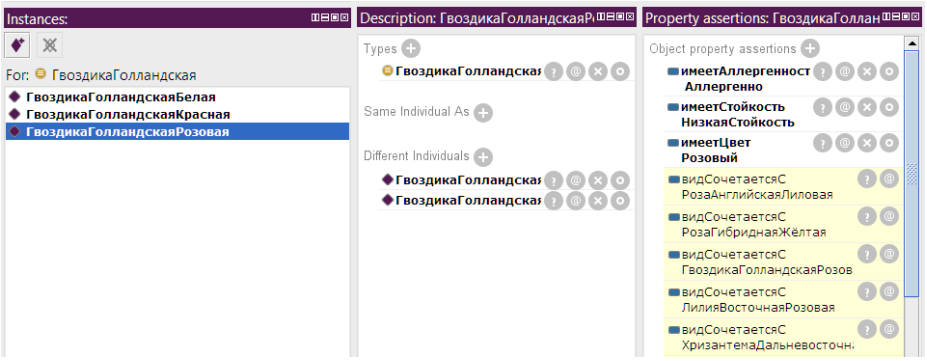


Рис. 6 – Результат работы Resoner

В рамках построенной онтологии Reasoner автоматически вывел перечень цветов, сочетающихся с розовой голландской гвоздикой (например, РозаАнглийскаяЛиловая, ЛилияВосточнаяРозовая). Reasoner также проанализировал набор SWRL правил и сделал выводы не просто на основе сочетаемости одного фактора, а на сочетаемости множества свойств каждого растения. (рис. 6).

Разработанная онтология вместе с набором индивидов классов образует базу знаний. База знаний предназначена для моделирования семантических отношений и связей между данными. Онтология и индивидуальные экземпляры классов позволяют представить смысловые аспекты информации и их взаимосвязи, позволяет выполнять сложные операции на основе семантики знаний, такие как логический вывод, рекомендации, анализ, сравнение и т. д., в отличии, например, от базы данных она обычно не описывает смысловые связи между данными. Данные представлены просто как набор записей или объектов [3].

Вывод: на данном примере автор статьи показал, что онтологии вполне подходят для решения задачи автоматизации подбора и проверки флористических композиций, что позволит сэкономить время флористов, которое они могут сконцентрировать на более важных аспектах творческого процесса, таких как разработка уникальных дизайнов, работа с клиентами или обучение студентов флористике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мультиагентные системы: методические указания для самостоятельной работы по выполнению домашнего задания / составитель Основина О.Н. Старый Оскол. СТИ НИТУ «МИСиС», 2020. – 64 с.

2. Композиция букетов: основы флористики, цветовые гармонии и стили букетов / Posiflora, 2026. [Электронный ресурс]. URL: https://posiflora.com/articles/kompozicziya-buketov-osnovy-floristiki-czvetovye-garmonii-i-stili-buketov/

3. Гончар А.Д. Сравнительный анализ баз данных и баз знаний (онтологий) применимо к моделированию сложных процессов // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 5. Ч. 1 [Электронный ресурс]. URL: https://web.snauka.ru/issues/2014/05/34325.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП ПЕЧИ НАГРЕВА СПЦ-2 АО «ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА»

Резников Д.В., студент 4 курса
Научный руководитель - к.т.н., доцент **Полещенко Д.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В данной работе рассматривается печь Эбнера СПЦ-2 АО «ОЭМК им. А.А. Угарова», а именно модернизация АСУТП печи Эбнера.

Печи сферодизирующего отжига предназначены для термической обработки стальных прутков в атмосфере азота с целью формирования у готового проката заданной структуры и свойств. На рисунке 1 представлена подробная схема печной установки.

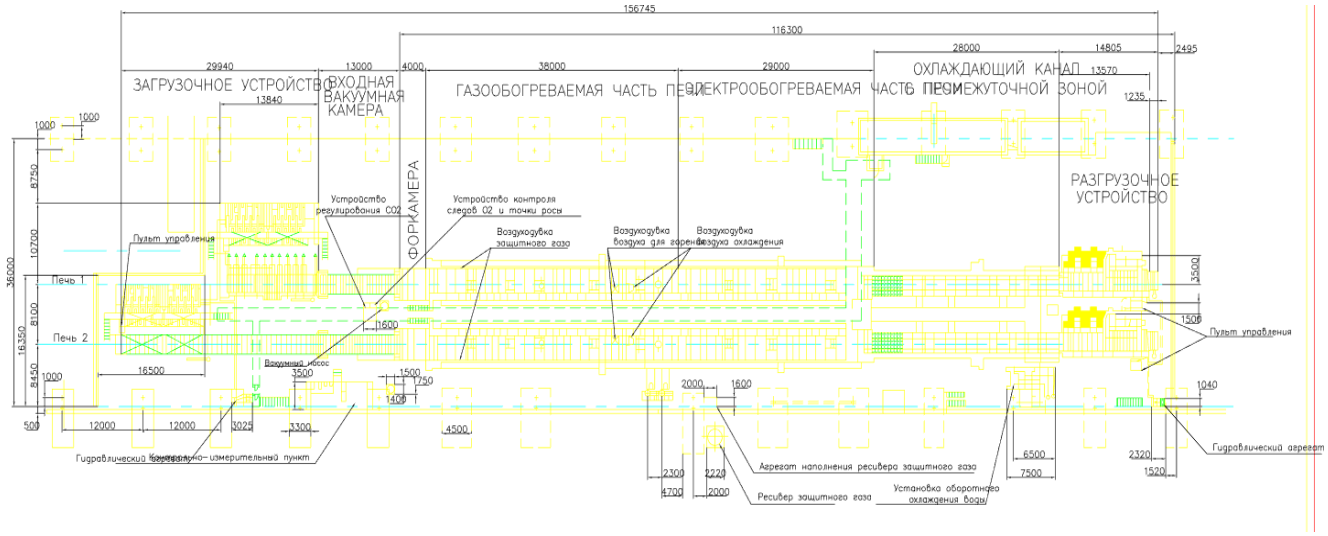


Рис. 1 – Схема печи Эбнера

Печь Эбнера представляет собой комбинированную газо-электронагреваемую камерную установку с роликовым подом в металлическом каркасе с огнеупорной футеровкой и теплоизоляцией. В состав оборудования печной установки входят: загрузочное устройство (сборочная мульда, устройство формирования пакетов), вакуумкамера, форкамера, печь отжига, охладительный канал и разгрузочное устройство. Реализован принцип непрерывного проходного режима: заготовки перемещаются через зоны нагрева и охлаждения. Для исключения образования окалины на поверхности проката рабочее пространство печи заполнено защитным газом – азотом (N_2) с требуемым содержанием 99,95%, объёмной долей кислорода не более 0,02% и точкой росы -55 °C.

Нагрев осуществляется в двадцати зонах: первые 10 зон – газообогреваемые (сжигание природного газа в радиационных трубах), следующие 10 зон – электрообогреваемые (нагревательные элементы). Такое разделение позволяет гибко настраивать температурный профиль и снижать энергозатраты. Футеровка выполнена из огнеупорных и теплоизоляционных материалов, обеспечивающих термостойкость и снижение теплопотерь. Системы подачи газа, воздуха и азота включают трубопроводы с арматурой, фильтрами и КИП. Воздух для горения подаётся вентиляторами.

Температурный режим регулируется в каждой зоне тремя термопарами типа Ni-Cr-Ni и зависит от марки стали и требований технологии; в зонах поддерживается 650–950 °C. Важно поддержание небольшого избыточного давления для предотвращения подсоса воздуха и выхода защитного газа. Полнота сжигания контролируется по составу дымовых газов. Присутствие в камере отжига кислорода, углекислого газа и водяных паров значительно

сказывается на качестве металла, поэтому в зонах №2,5,8,10,15 осуществляется постоянный отбор и анализ атмосферы печи. Контроль содержания CO_2, O_2 и точки росы выполняется газоанализатором ULTRAMAT 23.

Транспортировка прутков осуществляется роликовым подом со скоростью 2–10 м/мин, обеспечивающим равномерное перемещение. Вакуумкамера служит для предотвращения попадания воздуха в атмосферу защитного газа при загрузке: после въезда пакета происходит откачка воздуха практически до вакуума (5 мбар) и наполнение камеры азотом. Загрузка и выдача механизированы. После выхода из охладительного канала максимальная температура металла не превышает 300 °C. Готовый пакет обвязывают вручную, навешивают бирки и отправляют на склад [1].

Главная задача существующей АСУТП заключается в поддержании температуры в каждой зоне печи, давления, состава защитной атмосферы и скорости движения металла. Управление всеми параметрами, влияющими на качество отжига, основывается на показаниях термопар и газоанализатора. Для реализации системы противоаварийной защиты используется контроллер Siemens Simatic S5 (мультипроцессор S5-155U с процессором CPU 948). АСУ предусматривает автоматический режим работы, разгружающий оператора от постоянного контроля и привлекающий персонал только при угрозе аварии или работе в сложных режимах нагрева. АСУ контролирует расход газа и воздуха, давление, температуру, а также состав атмосферы (CO_2, O_2, точку росы).

В настоящее время эксплуатируемая система АСУТП имеет существенные ограничения. Анализ показал, что регулирование состава атмосферы (концентрации CO_2) осуществляется вручную: оператор при превышении предельно допустимой концентрации (0,01–0,08% в зависимости от программы отжига) получает световой сигнал, после чего открывает вентиль подачи азота. Это приводит к избыточному расходу защитного газа из-за человеческого фактора (время задержки 7–9 минут вместо 2–3 минут в автоматическом режиме). Переключение газоанализаторов между пятью зонами также выполняется вручную, без соблюдения временных интервалов, что снижает оперативность контроля.

Аппаратная часть системы морально и физически устарела: контроллеры Simatic S5-155U имеют низкую надёжность (частые зависания, потеря данных), регуляторы SIPART DR24 сняты с производства, что ведёт к простою оборудования. Существующая система сложно интегрируется с контроллерами поколения S7 и не обеспечивает автоматический обмен информацией с верхним уровнем управления цеха (сервером). Кроме того, измерительная аппаратура (термопары, датчики давления) эксплуатируется длительное время и имеет повышенную погрешность.

Для устранения указанных недостатков планируется комплексная модернизация системы с заменой контроллеров на современные SIMATIC S7-1500 (CPU-1513-1 PN для управления и CPU 1513 FC для ПАЗ), заменой измерительной периферии на отечественные высокоточные датчики (ЭЛЕМЕР-100 для давления, Сапфир-22ЕМ для расхода, термопары ТХА-0499Т), а также автоматизацией процесса газоанализа и регулирования подачи азота. Вместо ручного вентиля на трубе подачи азота устанавливается клапан с пневмоприводом GTD115 и регулятором положения SIPART 6 DR400, на который подается токовый сигнал 4–20 мА. Газоанализаторы переключаются автоматически по временному циклу или команде оператора с дисплея COROS.

Реализация этих мероприятий позволит повысить надёжность системы, снизить потребление защитного газа, уменьшить процент брака продукции и обеспечить интеграцию в единую информационную систему комбината на базе ERP SAP R/3.

Для разработки системы управления построена функциональная схема автоматического регулирования расхода защитного газа (азота), расхода воздуха горения и температуры печи, включающая три взаимосвязанных контура.

Далее в блоке рассогласования происходит сравнение этого заданного значения с реальной величиной концентрации углекислого газа, измеряемой датчиком газоанализатора «ULTRAMAT 23». Датчик передаёт данные по обратной связи, что позволяет точно

определить разницу между уставкой и текущей концентрацией. Полученное рассогласование поступает на блок «РЕГ» – ПИ-регулятор (Sipart DR24). В соответствии с величиной рассогласования регулятор формирует управляющее воздействие – токовый сигнал 4–20 мА, которое передаётся на исполнительный механизм. В качестве исполнительного механизма выступает клапан с пневмоэлектроприводом GTD115 и регулятором положения SIPART 6 DR400, регулирующий подачу азота в печь. Чем выше концентрация CO_2, тем на больший угол открывается заслонка.

Для разработки системы управления построена функциональная схема автоматического регулирования концентрации углекислого газа в печи, включающая три взаимосвязанных контура: стабилизации температуры, стабилизации расхода воздуха и стабилизации расхода защитного газа.

Контур стабилизации расхода защитного газа (азота) управляет подачей азота в печь для вытеснения углекислого газа. На вход контура поступает уставка по допустимой концентрации CO_2 (задаётся в зависимости от программы отжига в диапазоне 0,01–0,08%). В блоке рассогласования происходит сравнение уставки с реальной величиной, измеряемой газоанализатором ULTRAMAT 23. Рассогласование поступает на ПИ-регулятор, который формирует управляющее воздействие на исполнительный механизм – клапан с пневмоприводом. Чем выше концентрация CO_2, тем больше открывается заслонка подачи азота.

Функциональная схема рассматриваемой САР представлена на рисунке 2.

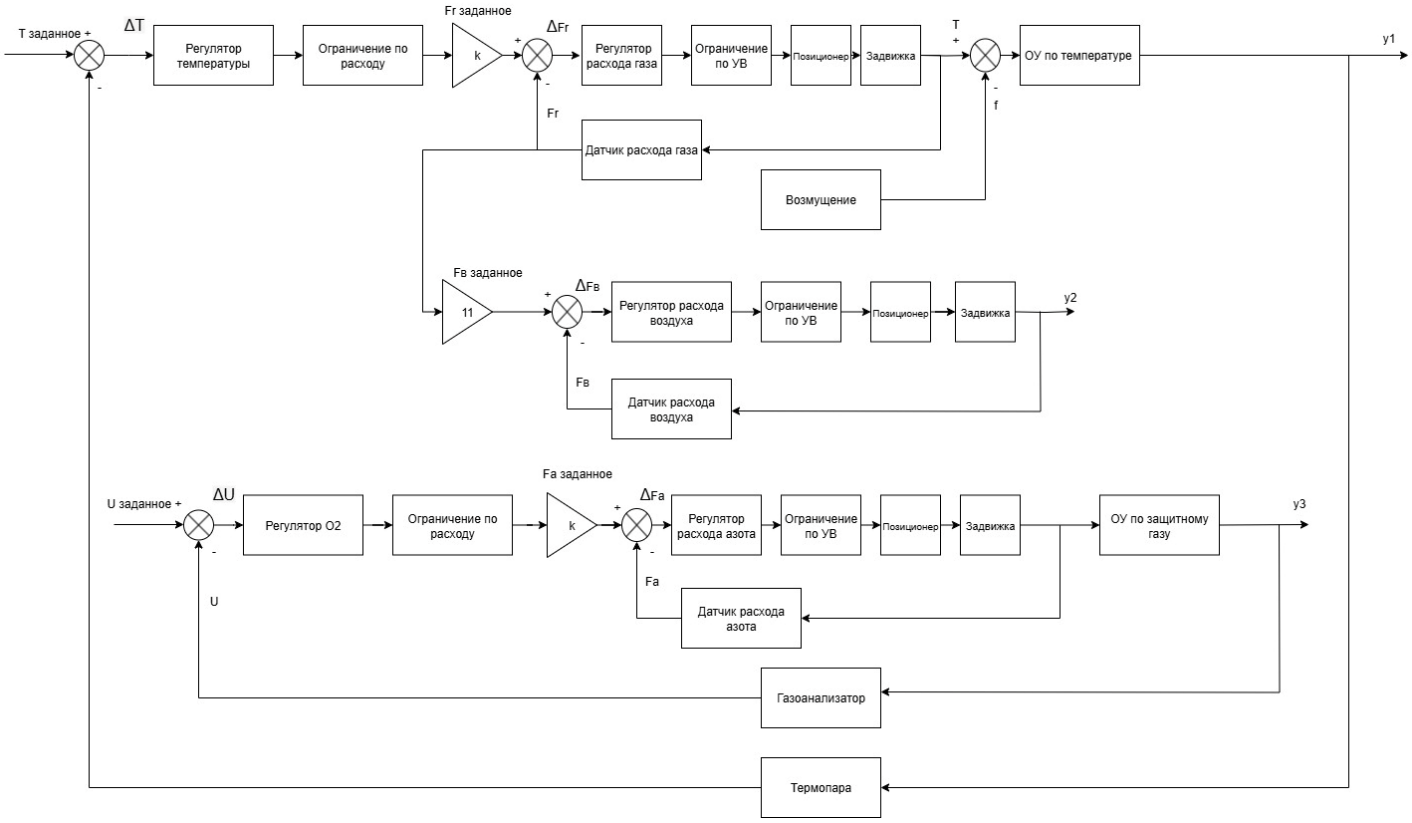


Рис. 2 – Функциональная схема САР

Графики переходных процессов модели можно наблюдать на рисунках 3-7.

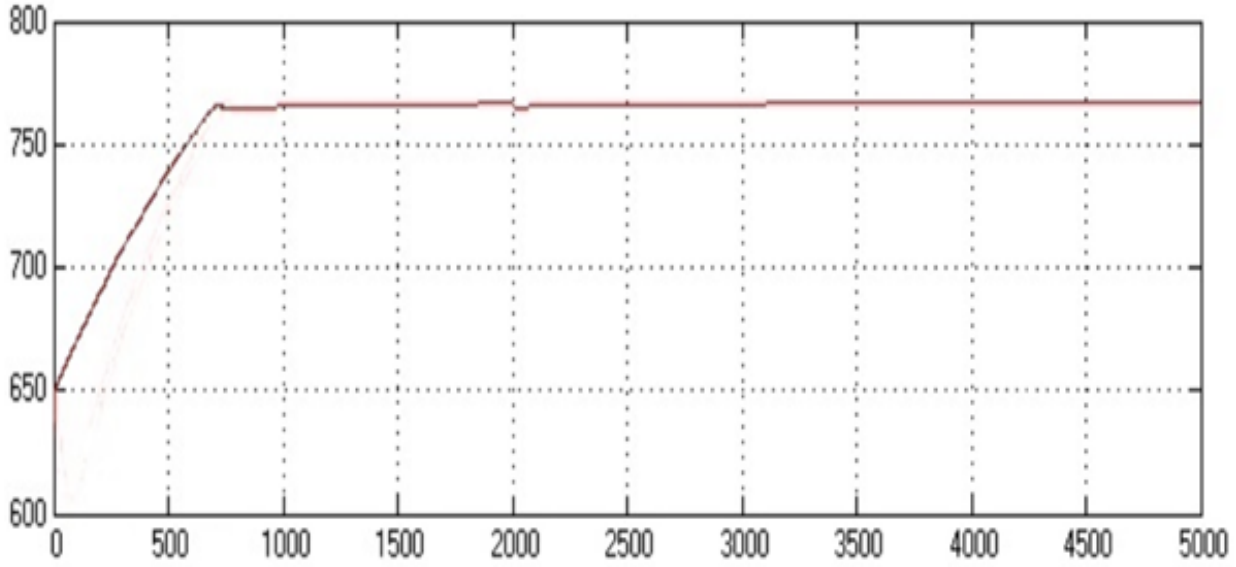


Рис. 3 – График переходного процесса по температуре

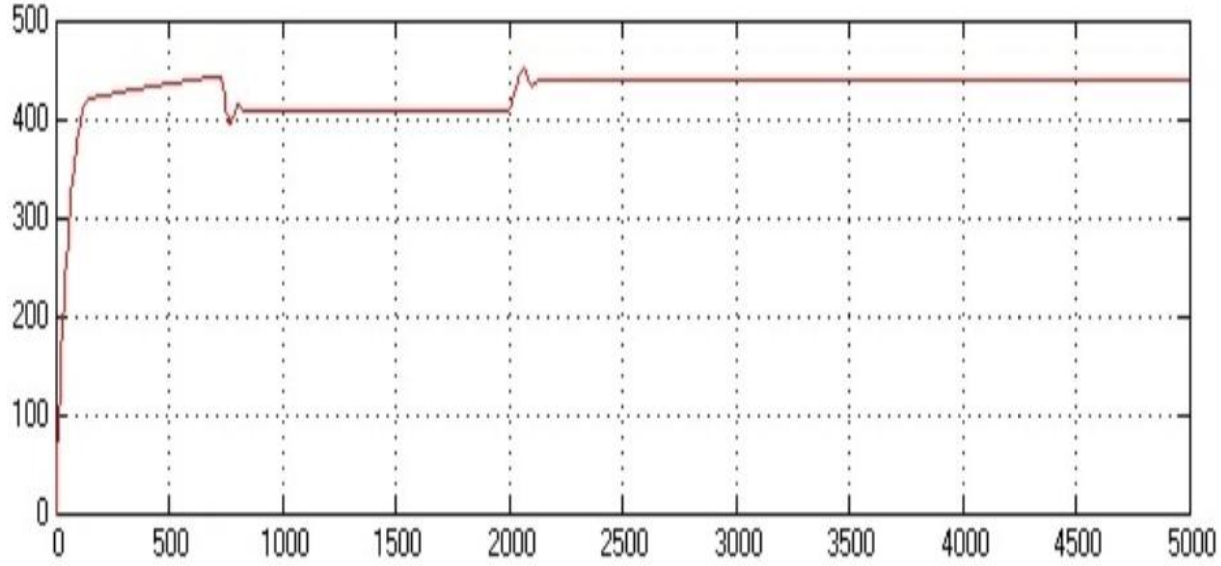


Рис. 4 – График расхода газа на стабилизацию температуры

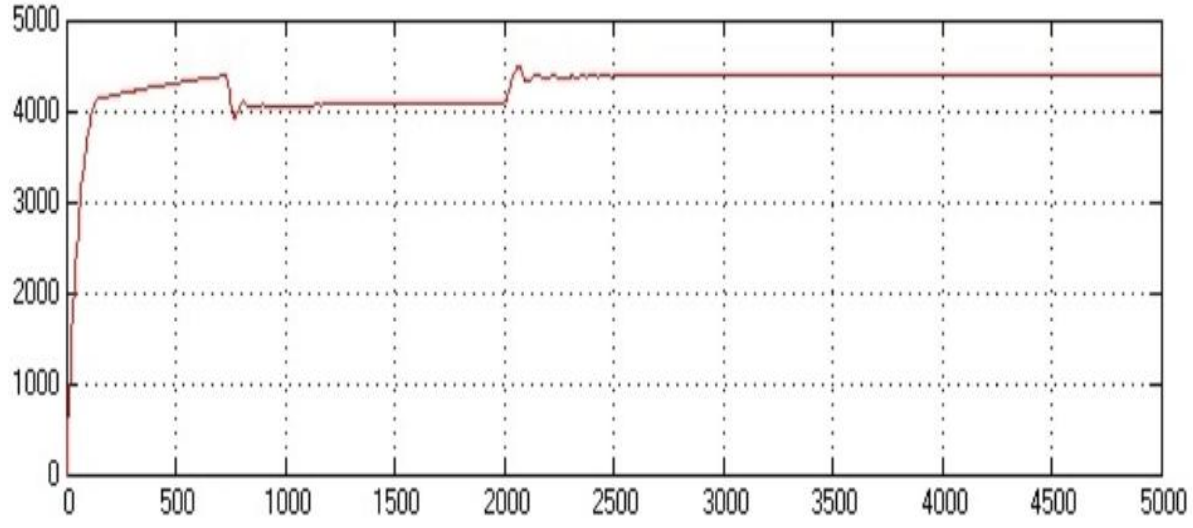


Рис. 5 – График расхода воздуха на стабилизацию температуры

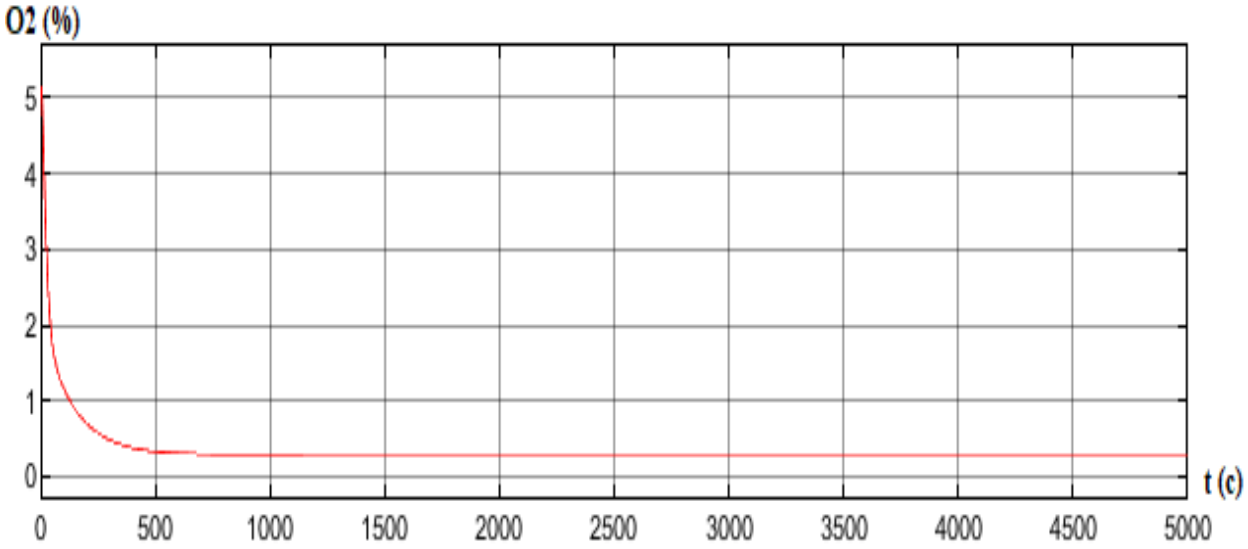


Рис. 6 – График изменения количества кислорода в печи

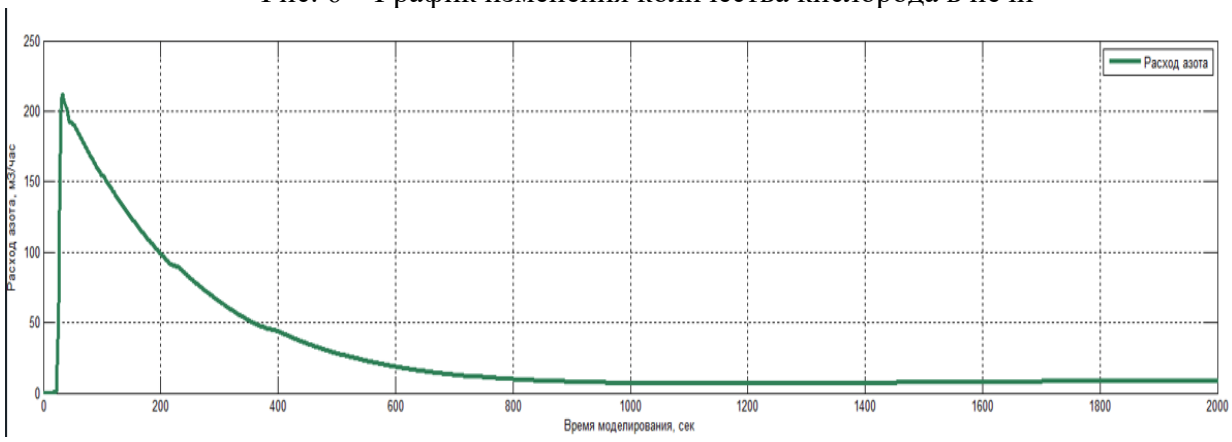


Рис. 7 – График изменения расхода защитного газа

По графикам, демонстрирующим работу системы, можно наблюдать, что моделировался выход печи на рабочую температуру 770 °С. Переходный процесс при изменении задания составляет чуть более 10 минут, без статической ошибки и с минимальным перерегулированием, не превышающей 1%. Система устойчиво компенсирует возмущения. Соотношение газ/воздух поддерживается на уровне 1:11.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буглак Л. И., Вольфман И. Б., Ефроймович С. Ю. и др. Автоматизация методических печей. М.: Металлургия, 1981. - 196 е.

2. Полещенко Д.А., Кривоносов В.А. Автоматизация технологических процессов и производств. Методические указания к выполнению лабораторных работ. Старый Оскол, СТИ МИСиС, 2008. – 60 с.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИЁМНОЙ КАМПАНИИ ДЕТСКОЙ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ШКОЛЫ

Рогозина П. А., студент 4 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Симонова А.Г.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В современных условиях цифровизации образовательной деятельности ключевым фактором эффективности работы любой образовательной организации становится автоматизация административных процессов. Особую значимость это приобретает в период приёмной кампании, которая напрямую влияет на репутацию учреждения. Для детских художественных школ (ДХШ), где конкурс на бюджетные места традиционно высок (3–4 человека на место), объективный, прозрачный и оперативный отбор абитуриентов является критически важной задачей.[1]

В настоящее время во многих учреждениях, включая Детскую художественную школу «ДШИ им. М.Г. Эрденко №1», процесс приёма заявлений, проведения вступительных испытаний и зачисления осуществляется преимущественно вручную: с использованием бумажных заявлений, оценочных листов и таблиц MS Excel для подсчёта результатов. Это приводит к высокой трудоёмкости, увеличению риска ошибок, задержкам в информировании родителей и снижению прозрачности процедур отбора.[2]

Детская художественная школа «ДШИ им. М.Г. Эрденко №1» реализует предпрофессиональные и общеразвивающие программы в области изобразительного искусства (живопись, рисунок, композиция, история искусств). Ежегодно школа проводит набор с ограниченным количеством бюджетных мест.

Ключевыми участниками процесса отбора являются:

1. родитель или законный представитель абитуриента;
2. секретарь приёмной комиссии;
3. члены приёмной комиссии (ведущие преподаватели);

Анализ существующей организации процесса выявил следующие недостатки:

1. высокая трудоёмкость и низкая скорость обработки данных;
2. отсутствие оперативной информации для родителей (статус заявления, дата экзамена)
3. недостаточная прозрачность процедуры оценки и формирования рейтинга;
4. использование бумажных оценочных листов, требующих последующей ручной обработки;

Разработка информационной подсистемы направленна на повышение эффективности, скорости и объективности работы приёмной комиссии.[3]

На рис. 1 представлена контекстная диаграмма процесса:

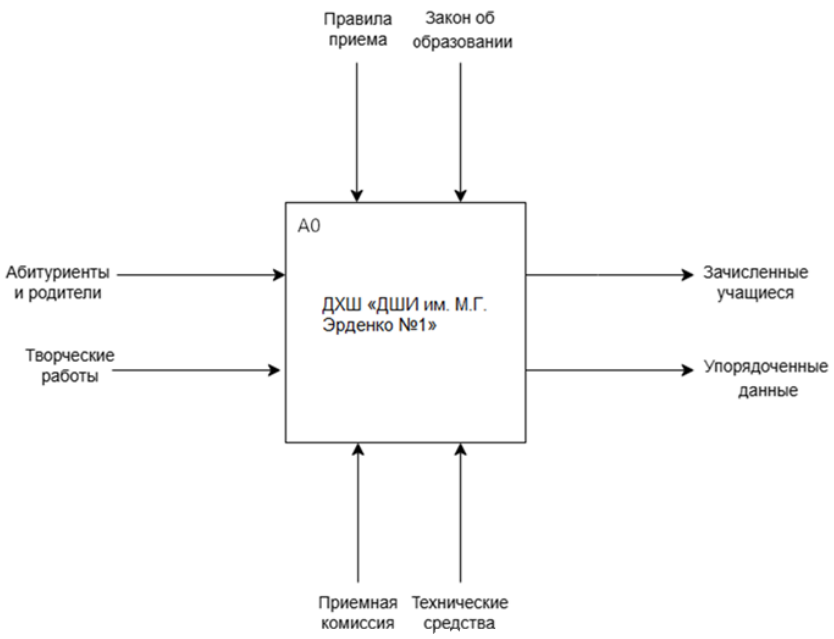


Рис. 1 – IDEF0-модель процесса проведения приемной кампании

Входными данными процесса являются абитуриенты с родителями и творческие работы. Управляющими факторами выступают правила приёма и закон об образовании. В качестве механизмов используются приёмная комиссия и технические средства. Выходными результатами будут зачисленные учащиеся и упорядоченные данные.[4]

В результате декомпозиции основного процесса были выделены следующие ключевые функциональные блоки:

1. Приём заявлений.
2. Проведение вступительных испытаний.
3. Оценка работ и подведение итогов.
4. Зачисление учащихся.

Следующим этапом проектирования стало построение диаграммы классов UML, представленной на рис. 2. Она определяет набор сущностей, их атрибуты и отношения между ними, что в совокупности составляет информационную модель разрабатываемой системы.

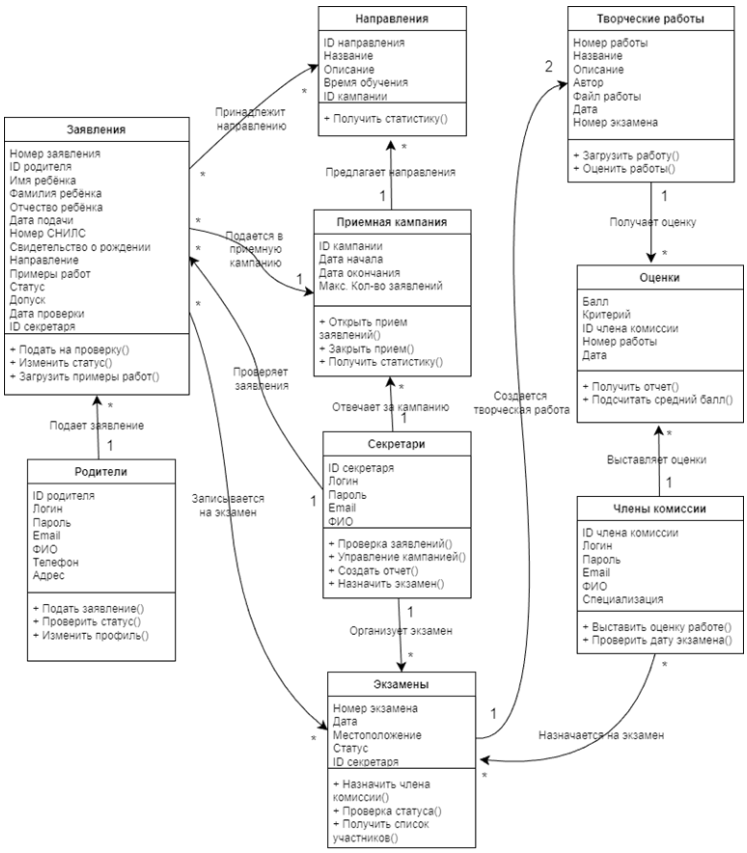


Рис. 2 – Диаграмма классов системы

Ключевые сущности включают: Пользователь, Родитель, Секретарь, ЧленКомиссии, Заявление, НаправлениеОбучения, Экзамен, ТворческаяРабота, Оценка, ПриёмнаяКампания. Каждый блок выполняет конкретную функцию в системе обработки заявления, установления дат экзаменов и оценки готовых работ.

Разрабатываемая информационная система реализована как веб-приложение с клиент-серверной архитектурой. Выбран следующий стек технологий:

1. серверная часть: PHP (обработка логики, работа с БД);
2. база данных: MySQL (хранение данных пользователей, заявлений, оценок);
3. фронтенд: HTML, CSS (отображение форм и личных кабинетов);
4. среда разработки: XAMPP (включает Apache-сервер, PHP и MySQL);
5. безопасность: хеширование паролей.

На рис. 3 представлена форма регистрации родителя, содержащая поля для ввода email, пароля, ФИО, номера телефона и адреса проживания.

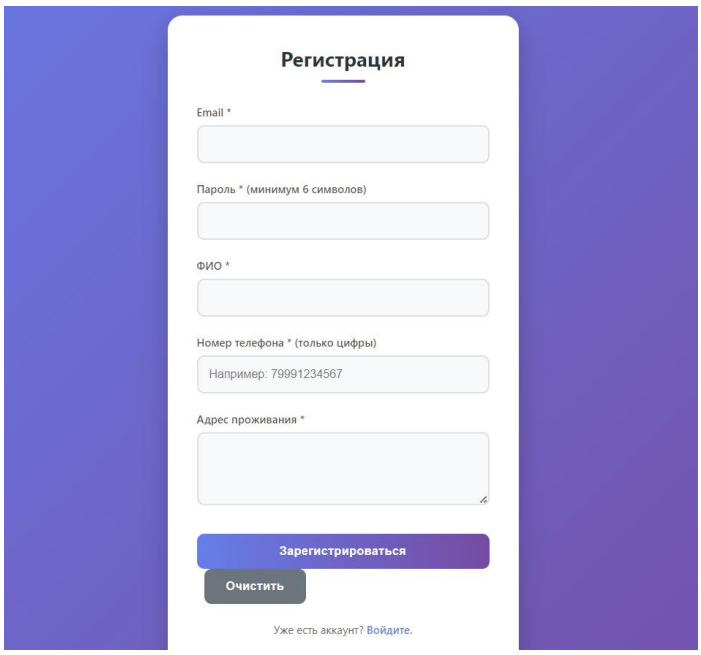


Рис. 3 – Форма регистрации родителя

После успешной авторизации родитель попадает в личный кабинет (рис. 4), где может подать новое заявление, отслеживать статус уже поданных, просматривать рейтинговый список и получать уведомления.

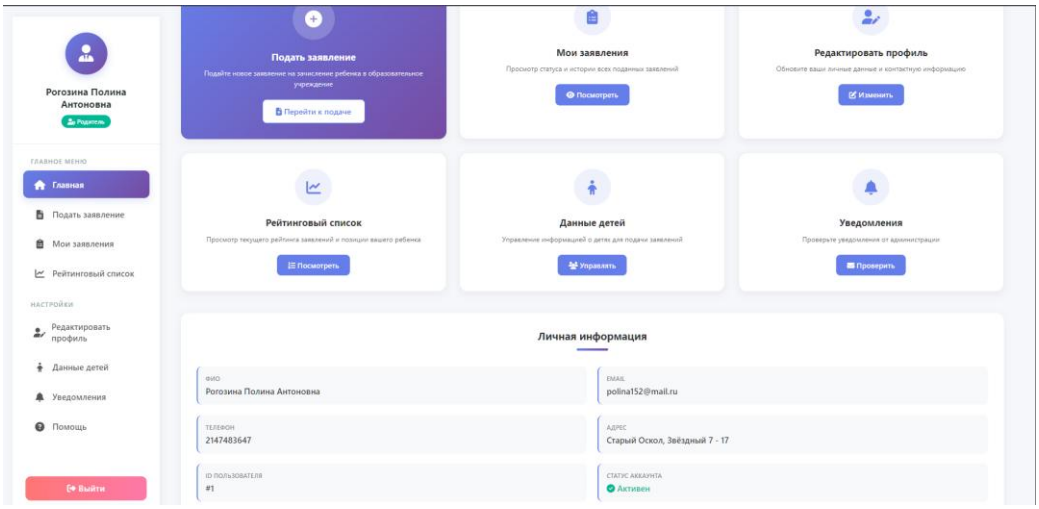


Рис. 4 – Пример личного кабинета родителя

Личный кабинет секретаря приёмной комиссии (рис. 5) содержит панель управления со статистикой по кампании, таблицу заявлений с возможностью фильтрации и массовых действий, а также модуль формирования расписания экзаменов.

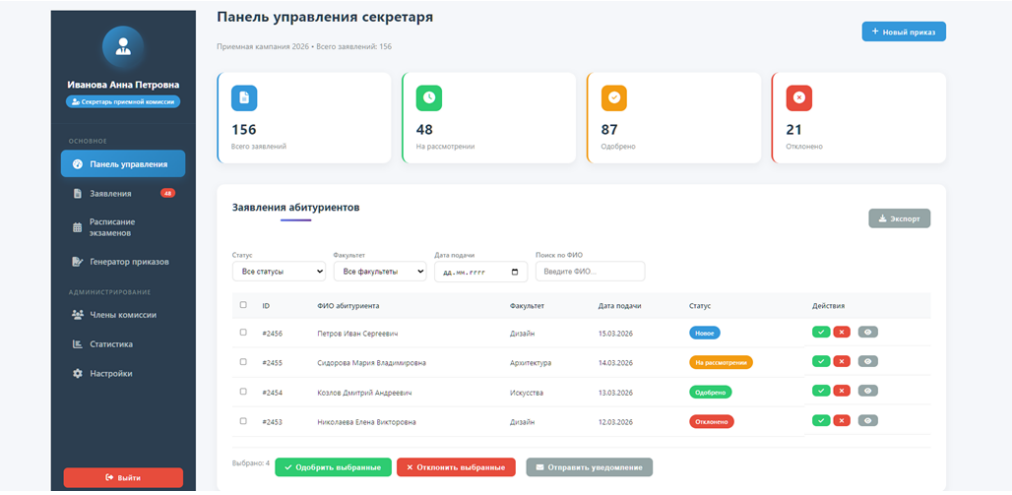


Рис. 5 – Пример личного кабинета секретаря

Для члена приёмной комиссии реализован интерфейс оценки творческих работ (рис. 6), включающий галерею работ абитуриентов и форму с слайдерами для выставления баллов по критериям (оригинальность, техническое исполнение, композиция, цветовое решение). Система автоматически рассчитывает итоговый балл.

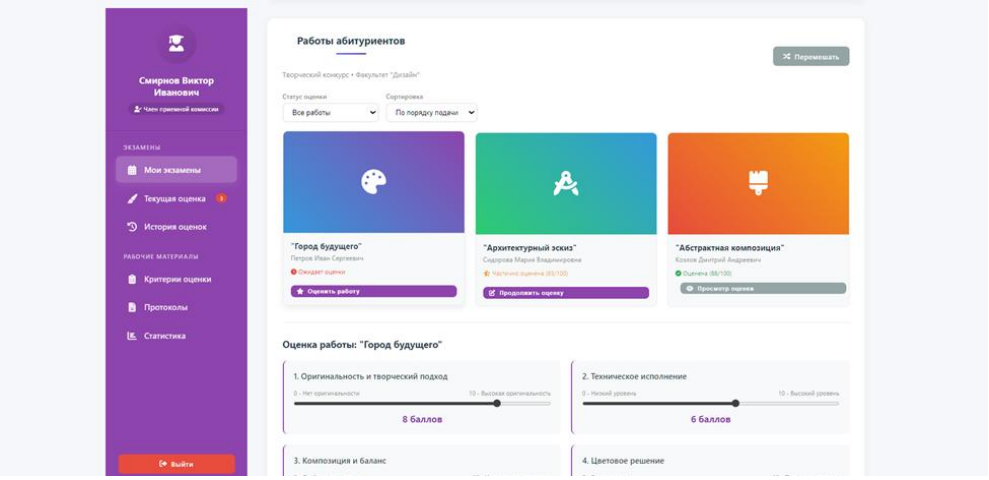


Рис. 6 – Пример личного кабинета члена комиссии

В результате разработки информационной подсистемы для автоматизации процесса отбора и зачисления учащихся в детскую художественную школу были обеспечены следующие возможности:

1. автоматизированный приём и регистрацию электронных заявлений;
2. личные кабинеты для родителей, секретаря и членов приёмной комиссии;
3. автоматическое формирование расписания экзаменов и уведомлений;
4. электронную оценку творческих работ по критериям с автоматическим расчётом рейтинга;
5. прозрачное отображение статусов и результатов для родителей;
6. автоматическое формирование рейтинговых списков и проектов приказов о зачислении.

Разработанная система позволяет сократить временные и трудовые затраты сотрудников школы, минимизировать риск арифметических ошибок, повысить объективность и прозрачность процедуры отбора, а также создать единую базу данных для последующего анализа приёмных кампаний. Предложенное решение может быть адаптировано для других образовательных учреждений, осуществляющих конкурсный отбор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журнал «Директор школы» – официальное издание для руководителей образовательных организаций. – URL: http://direktor.ru/ (дата обращения: 10.11.2025).
2. «Университет 20.35» – платформа о цифровой трансформации образования. – URL: https://2035.university/ (дата обращения: 11.11.2025).
3. Сайт «Блог системного администратора» – практический ресурс об ИТ-решениях для организаций. – URL: https://sysadmin-note.ru/ (дата обращения: 11.11.2025).
4. «Базовые знания по IDEF0». Блог Comindware. – URL: https://www.comindware.ru/blog/азы-моделирования-в-idef0/ (дата обращения: 06.11.2025).
5. Столяров А. «Проектирование Sequence-диаграмм: руководство для системных аналитиков». – Хабр. – URL: https://habr.com/ru/articles/924396/ (дата обращения: 08.11.2025).

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К РАЗРАБОТКЕ ИС ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕТА СТУДЕНЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Розенко Е.М., студент 3 курса
Научный руководитель – старший преподаватель **Ковтун Н.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
(СТИ НИТУ «МИСИС»)

Для развития компетенций будущего специалиста, наряду с учебным процессом, важное значение имеет активное участие в научных, культурных и спортивных мероприятиях. Часто такие события проходят во время учебных занятий. Для официального обоснования пропусков оформляются служебные записки на группы студентов или индивидуально. Такой бумажный документооборот сопровождается длительным процессом согласования и отсутствием прозрачности. При этом кураторы групп, преподаватели и сами студенты нуждаются в оперативном доступе к подтверждающим документам, так как фиксация этой активности напрямую влияет на учет пропусков занятий обучающегося и подсчета баллов для назначения повышенных государственных академических стипендий (ПГАС).

На текущий момент в институте отсутствует единая база данных: учет ведется вручную с помощью офисных программ и электронной почты, что приводит к значительным временным затратам на подготовку документов и риску потери данных о достижениях студентов. Создание и внедрение информационной системы для автоматизации учета студенческой активности является актуальной задачей.

Функционал разрабатываемой информационной системы должен быть интегрирован в организационную структуру института, представленную на рисунке 1, и опираться на иерархию принятия управленческих решений. Директор института может использовать генерируемые системой отчеты для оценки эффективности внеучебной деятельности. Структуру документов и требования к их оформлению будет формировать заместитель директора по молодежной политике.

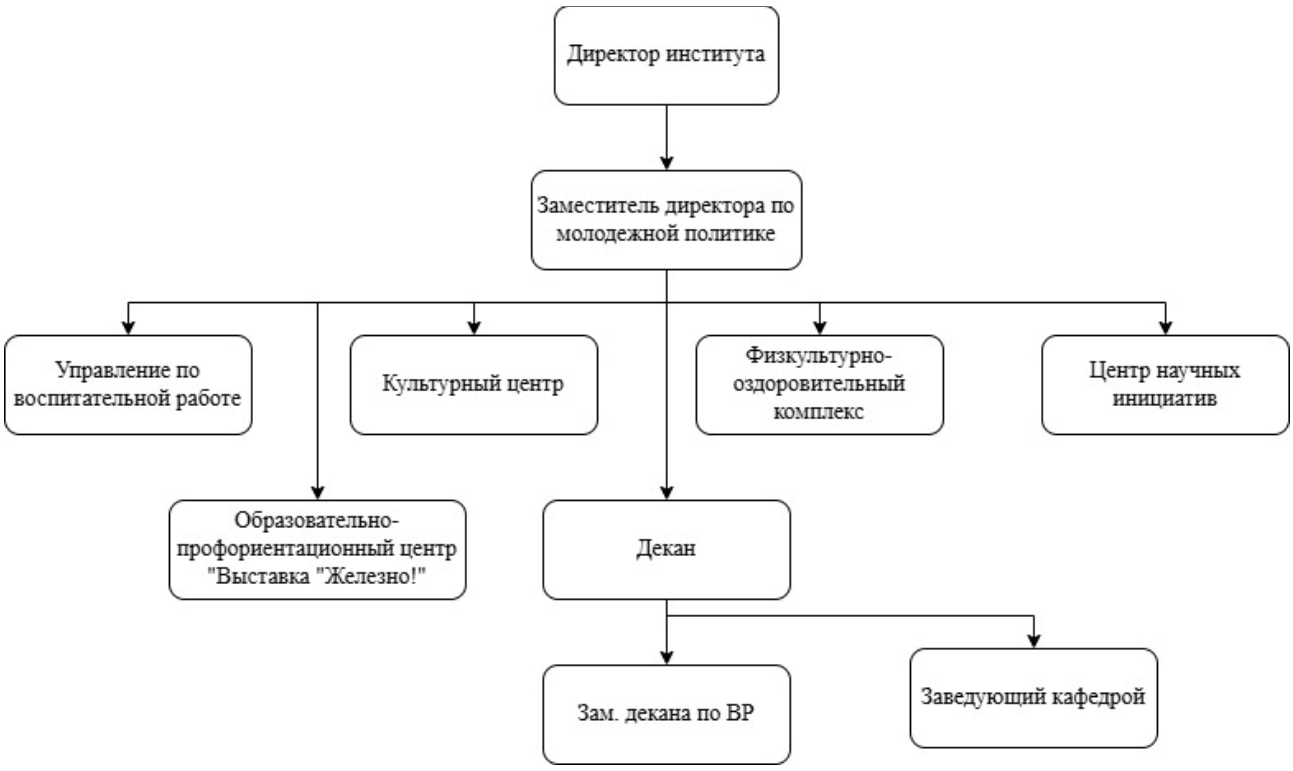


Рис. 13 – Организационная структура

Система должна строиться на распределенной модели администрирования. Создавать мероприятия и формировать служебные записки будут руководители ключевых структурных подразделений: управления по воспитательной работе, культурного центра, физкультурно-оздоровительного комплекса, центра научных инициатив, а также образовательно-профориентационного центра «Выставка «Железно!» и кафедр. В функциональные обязанности заместителей деканов по воспитательной работе может входить ведение реестра участников мероприятий. Чтобы данные были легитимными, в ИС необходимо заложить этап верификации: сформированные документы должны быть подписаны деканом.

Все мероприятия можно разделить на несколько типов:

1. Учебная деятельность – проектная деятельность, опытно-конструкторская работа, олимпиады, конкурсы, соревнования, состязание и др., направленные на выявление учебных достижений.
2. Научно-исследовательская деятельность – гранты, научно-исследовательские работы, интеллектуальная деятельность (патент, свидетельство).
3. Общественная деятельность – общественно значимая деятельность социального, культурного, правозащитного и общественно полезного характера.
4. Культурно-творческая деятельность – создание произведения литературы или искусства.
5. Спортивная – результаты спортивной деятельности, осуществленной в рамках спортивных международных, всероссийских, ведомственных, региональных мероприятий.

Роли студентов в мероприятии можно классифицировать следующим образом:

1. Участник – человек, который принимает участие.
2. Волонтер – помогает в организации и на площадке проведения.
3. Организатор – участвует в организации мероприятия, на площадке и после окончания.

На рисунке 2 представлена контекстная диаграмма основного бизнес-процесса в нотации IDEF0 [1, 2].

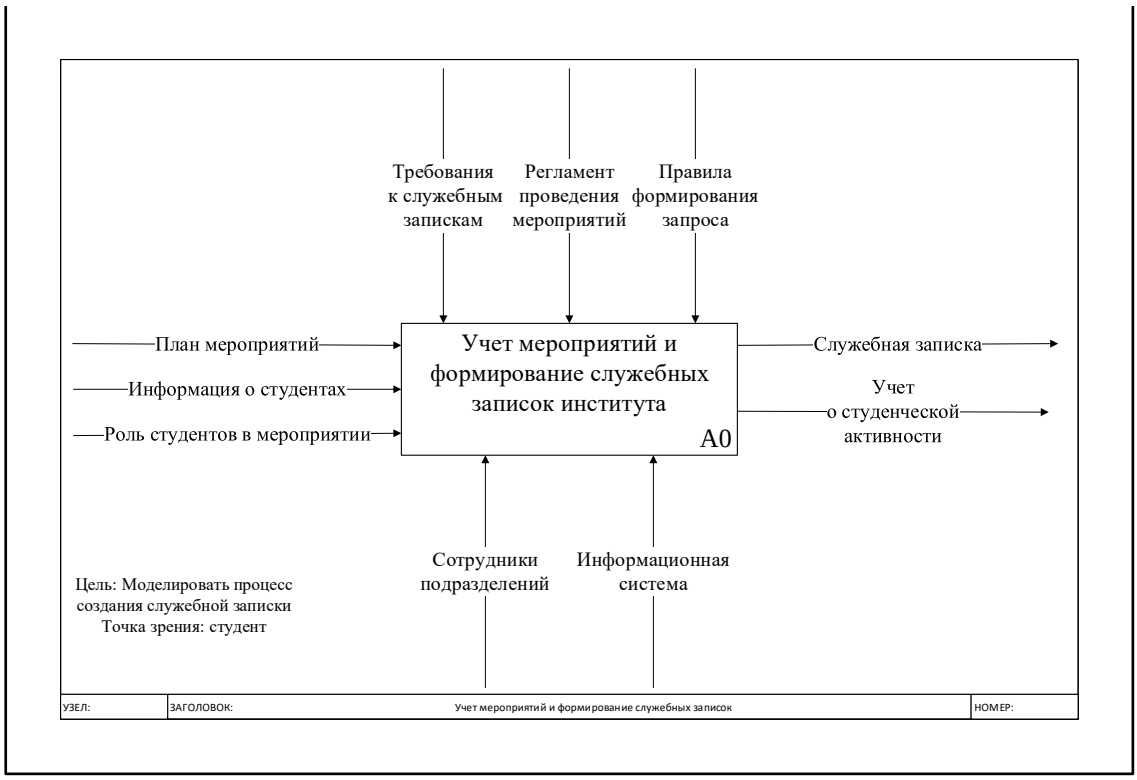


Рис. 14 – Контекстная диаграмма

Функциональный блок «Учет мероприятий и формирование служебных записок института» взаимодействует с окружением через четыре типа дуг:

– входы: план мероприятий, информация о студентах, роль студентов в мероприятии;

– выходы: сформированная служебная записка, учет студенческой активности;

– управление: регламент проведения мероприятий, требование к служебным запискам, правила формирования запроса;

– механизмы: сотрудники подразделений, информационная система.

На рисунке 3 изображена диаграмма декомпозиции блока А0. Диаграмма разбивает процесс на пять подпроцессов: создание мероприятия, добавление участников, назначение ролей студентам, формирование служебной записки, запрос. Потоки управления действуют на все блоки, задавая правила управления.

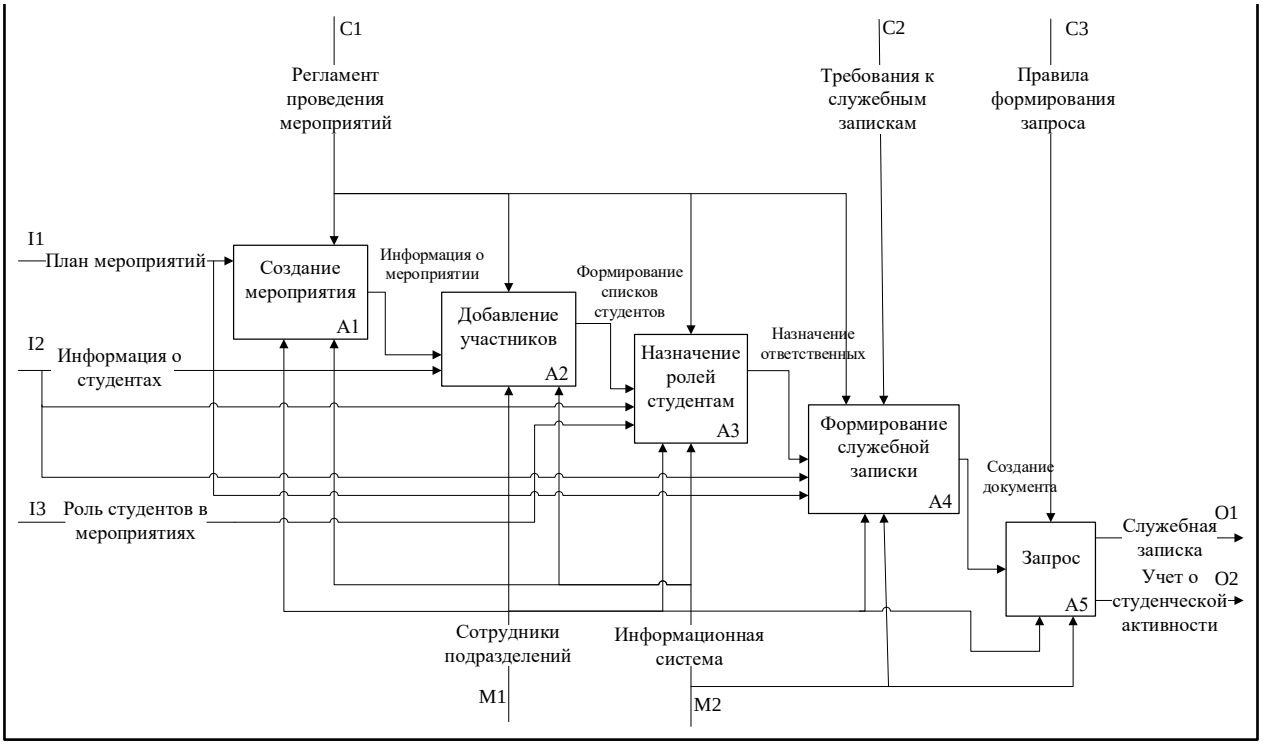


Рис. 15 - Диаграмма декомпозиции

На основе анализа организационной структуры и бизнес-процессов были выделены функциональные требования к информационной системе.

Для управления мероприятиями:

1. В ИС необходимо предусмотреть возможность создавать мероприятие с указанием обязательных атрибутов: название, дата проведения, тип (научное, спортивное, культурное и т.д.) и ответственное подразделение.

2. Формирование списка участников мероприятия должно осуществляться путем выбора студентов из единой базы данных 1С:Университет.

3. В ИС необходимо предусмотреть возможность назначать роли студентам внутри мероприятия (участник, организатор, волонтер, призер) для корректного расчета баллов на повышенную стипендию.

Для автоматизации документооборота:

1. Служебная записка должна генерироваться автоматически и иметь возможность изменения статусов: «на согласовании», «на утверждении», а после прохождения всех процедур должна появиться возможность скачать документ.

2. Для всех сформированных и подписанных служебных записок необходимо реализовать возможность быстрого поиска по дате, ключевым словам или фамилии студента.

Для организации доступа и безопасности, а также администрирования системы:

1. Преподаватель должен иметь доступ к просмотру подтвержденных пропусков по своим дисциплинам.

2. Студент должен иметь личный кабинет для просмотра своей активности, статуса участия в мероприятиях и сформированных на его имя служебных записок для ПГАС.

3. Администрация должна иметь возможность просмотра отчетов по количеству проведенных мероприятий и вовлеченности студентов за выбранный период.

4. Система должна обеспечивать целостность данных при одновременной работе нескольких пользователей.

Реализация информационной системы позволит автоматизировать процесс учета студенческой активности, заменяя разрозненный бумажный документооборот единой цифровой средой. Это обеспечит прозрачность начисления баллов для повышенных стипендий и предоставит оперативный доступ к подтверждающим документам всем участникам процесса. Автоматизация формирования служебных записок минимизирует ошибки в их оформлении и повысит эффективность управления внеучебной деятельностью института.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ипатова, Э. Р. Методологии и технологии системного проектирования информационных систем : учебник / Э. Р. Ипатова, Ю. В. Ипатов. – 3-е изд., стер. – Москва : ФЛИНТА, 2021. – 256 с. : табл., схем. – (Информационные технологии). – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=79551 (дата обращения: 06.04.2026). – Библиогр.: с. 95-96. – ISBN 978-5-89349-978-0. – Текст : электронный.

2. Проектирование информационных систем : учебник и практикум для вузов / Д. В. Чистов, П. П. Мельников, А. В. Золотарюк, Н. Б. Ничепорук. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2026. — 273 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-20361-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/583207 (дата обращения: 07.04.2026).

РАЗРАБОТКА АСУ-ТП БАКА УЗЛА ПОКРЫТИЯ АНО-7 ЦЕХА ДИНАМНОЙ СТАЛИ ПАО «НЛМК»

Рудак А.И., студент 4 курса
Научный руководитель - к.т.н., доцент **Полещенко Д.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Технология покрытия электродинамической стали на узле АНО-7 цеха динамной стали ПАО «НЛМК» представляет собой ряд последовательных операций, каждая из которых обеспечивается специализированным оборудованием.

Важным этапом выступает узел аппаратного нанесения покрытия, технологический объект которого рассматривается комплексно настоящей научно-исследовательской работой. На рисунке 1 представлен узел покрытия АНО-7, состоящий из ванны предварительной обработки, рабочего бака, оборудования непосредственного покрытия стальных полос и вспомогательное не относящиеся к технологии покрытия оборудование и изделия.

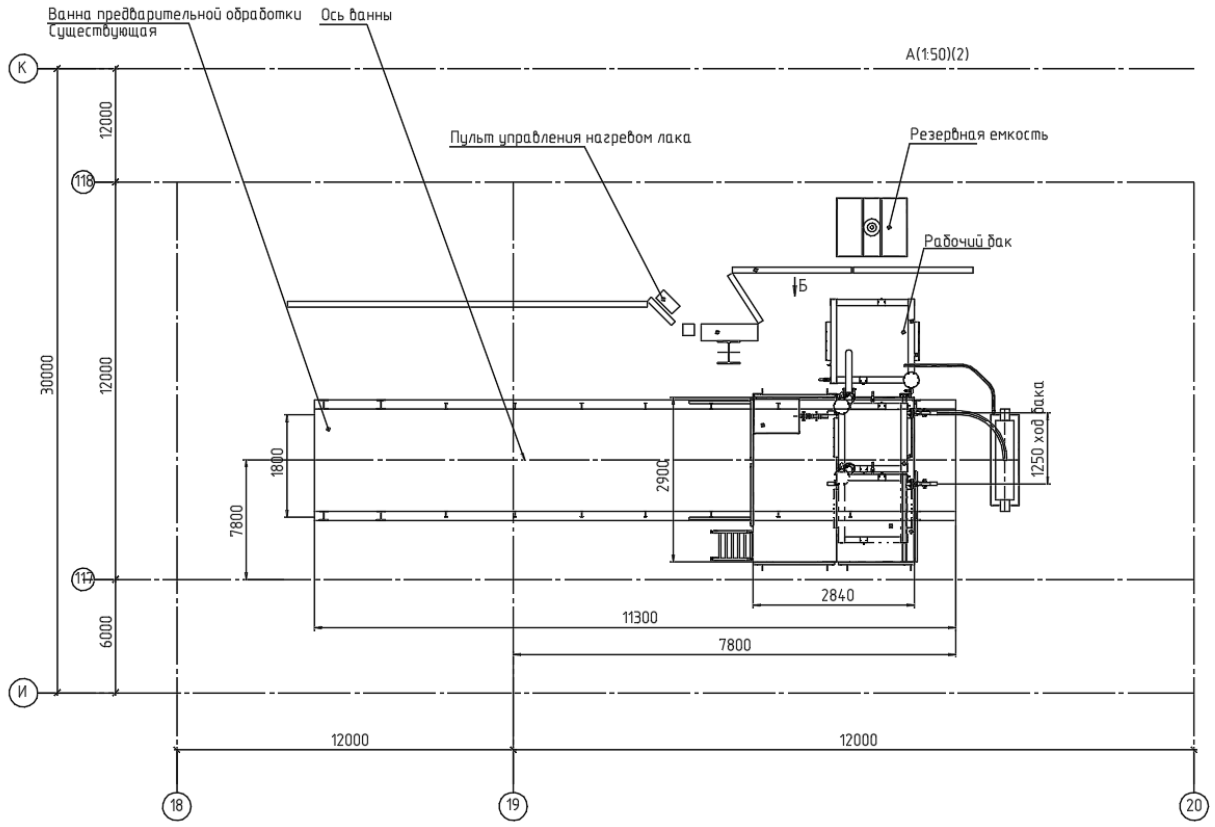


Рис. 1 – Узел покрытия АНО-7

После того как металлическая полоса поступает на участок непосредственного нанесения покрытия она, согласно технологии покрытия, проходит обработку в «ванне предварительной обработки». Далее полоса двигается к машине, оснащенной системой валкового типа для нанесения лака.

Состав (лак) для нанесения покрытия хранится в технической емкости, а именно в рабочем баке, представленном на рисунке 2, оснащенном водяной рубашкой и системами подогрева, так называемыми ТЭНами, во избежание застывания. Температура состава должна поддерживаться в определенном диапазоне, описанному в технологии, от 30 до 50 градусов Цельсия, в зависимости от используемой марки состава.

Состав покрытия распределяется тонким слоем по всей ширине стальной полосы, создавая надежную и прочную оболочку. Толщина покрытия выполняется согласно технологии, и выставлена ранее машиной валкового типа нанесения лака.

Основной задачей данного этапа является формирование высококачественного защитного покрытия, защищающего сталь от коррозионных воздействий и улучшающего электромагнитные характеристики стальной полосы.

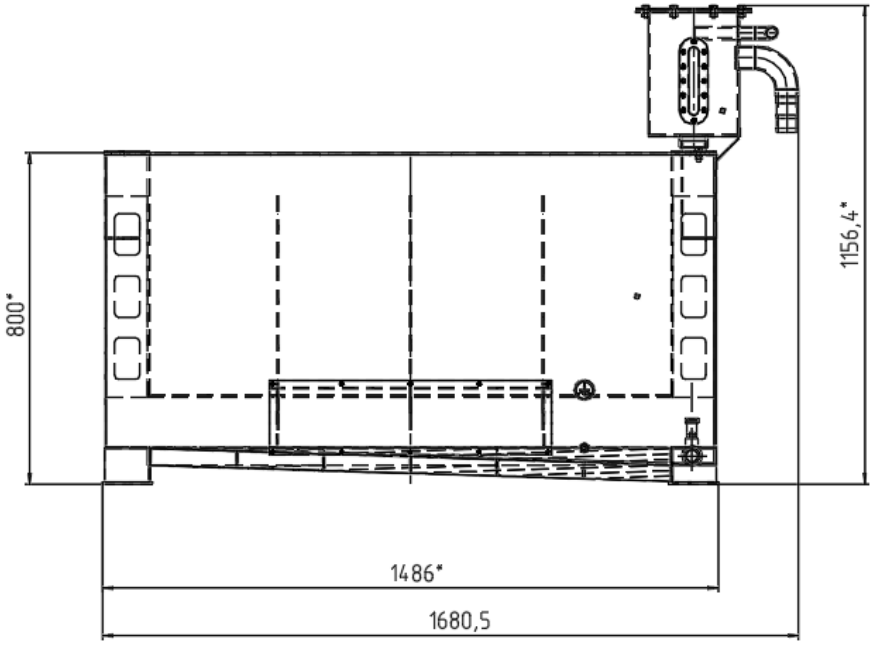


Рис. 2 – Емкость рабочего бака

Топология технологического оборудования системы аппаратного нанесения покрытия узла АНО-7 цеха динамной стали ПАО «НЛМК» построена согласно технологии заключающей стадии производства электротехнической стали.

Рассмотрим комплексно технологический процесс поддержания температуры лака в рабочем баке. Система автоматизации отсутствует.

Рабочий бак узла покрытия представляет собой двустенную емкость. Полость между стенами, так называемая рубашка, заполнена водой. В рубашке установлены ТЭНы, греющие воду, которая в свою очередь подогревает состав, заполняющий емкость.

В виду отсутствия АСУТП персоналу необходимо вручную:

- управлять подачей электропитания на ТЭНы для поддержания температуры;
- выполнять замеры температуры состава в баке;
- заполнять бак составом;
- осуществлять подачу состава на технологическое оборудование;
- осуществлять перемешивание лака во избежание локальных перегревов.

Также на объекте не обеспечена сигнализация о недопустимых технологических параметрах, и аварийных ситуациях, приводящих к остановке выпуска сырья с АНО-7.

Взяв во внимание вышеперечисленное, можно сделать вывод, что на сегодняшний день отсутствие АСУТП и ПАЗ приводит к снижению выхода соответствующей стандартам продукции из цеха динамной стали, снижению энергоэффективности – как следствие экономические потери.

Разрабатываемая система автоматизации позволит нивелировать эти недостатки, оптимально регулировать технологическими параметрами, снизить расход электроэнергии, повысить эффективность работы персонала путем перераспределения персонала по участкам

в связи с отсутствием необходимости выполнения ряда задач, выполняемых автоматикой, улучшить условия труда, повысить надежность работы технологического оборудования.

Для успешного решения поставленных задач необходимо: в автоматическом режиме управлять процессами подогрева, перемешивания, поддержания уровня и подачи лака в рабочем баке. Также предусмотреть светозвуковую сигнализацию и противоаварийную защиту. Разработать систему визуализации на панель оператора. Для реализации перечисленного необходимо установить контроллеры (основной и ПАЗ), датчики температуры, уровнемер, исполнительные механизмы (насосы, мешалка), сигнализации, панель оператора, аварийные маяки и сигнальные лампы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рабочая документация марки ТХ по объекту ПАО «НЛМК». ЦДС. Контролируемый подогрев рабочего бака узла покрытия АНО-7, тех. место №10-015-72-007-006 (узел нанесения покрытия)».

2. Технологическая инструкция по покрытию электроизоляционным лаком электродинамической стали.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ МЕТОДОМ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Рудаков В.А., студент 3 курса
Научный руководитель – ассистент **Михайлов И.С.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Современные технические и производственные системы, особенно в металлургии, характеризуются высоким уровнем энергопотребления. Согласно статистике, на охлаждение оборудования в металлургическом производстве приходится до 15–20 % от общего энергопотребления предприятия [1]. Оптимизация режима работы энергоёмких агрегатов (насосов, компрессоров, вентиляторов) позволяет существенно снизить затраты без снижения технологических параметров.

Одним из эффективных методов решения таких задач является линейное программирование (ЛП), которое позволяет находить глобальный оптимум при линейных целевой функции и ограничениях [2]. В настоящей работе разработана модель оптимизации энергопотребления системы охлаждения и реализован алгоритм на языке Python.

Рассматривается система охлаждения металлургического оборудования, состоящая из трёх насосов различной производительности и мощности. Необходимо обеспечить требуемый суммарный расход охлаждающей жидкости $G \geq 1200$м³ за смену при минимальном энергопотреблении.

Обозначения:

– x_j— время работы j-го насоса, ч ($j = 1,2,3$);
– p_j— номинальная мощность j-го насоса, кВт;
– q_j— производительность j-го насоса, м³/ч.

Исходные данные:

– Насос 1: $q_1 = 50$м³/ч; $p_1 = 10$кВт;
– Насос 2: $q_2 = 80$м³/ч; $p_2 = 15$кВт;
– Насос 3: $q_3 = 120$м³/ч; $p_3 = 25$кВт.

Математическая модель задачи линейного программирования:

Целевая функция (минимизация энергопотребления):

$$\min E = 10x_1 + 15x_2 + 25x_3 \quad (1)$$

Ограничения:

1. Обеспечение требуемого расхода:

$$50x_1 + 80x_2 + 120x_3 \geq 1200 \quad (2)$$

2. Ограничения по времени работы (смена 10 часов):

$$0 \leq x_j \leq 10, j = 1,2,3 \quad (3)$$

Модель является полностью линейной, поэтому может быть решена симплекс-методом.

Алгоритм включает следующие этапы:

1. Формирование модели ЛП (целевая функция + ограничения).
2. Передача модели системе.
3. Получение оптимальных значений переменных x_j^*.
4. Расчёт экономического эффекта (сравнение с базовым режимом).

Реализация выполнена на языке Python с использованием открытой библиотеки PuLP. Ниже приведён фрагмент кода:

```
import pulp
# Создание задачи
prob = pulp.LpProblem("Energy_Optimization", pulp.LpMinimize)
```

```
# Переменные
x1 = pulp.LpVariable("x1", 0, 10)
x2 = pulp.LpVariable("x2", 0, 10)
x3 = pulp.LpVariable("x3", 0, 10)
# Целевая функция
prob += 10 * x1 + 15 * x2 + 25 * x3, "Total_Energy"
# Ограничения
prob += 50 * x1 + 80 * x2 + 120 * x3 >= 1200, "Required_Flow"
# Решение
prob.solve(pulp.PULP_CBC_CMD(msg=0))
# Результаты
print("Оптимальное время работы:")
print(f"Насос 1: {pulp.value(x1):.2f} ч")
print(f"Насос 2: {pulp.value(x2):.2f} ч")
print(f"Насос 3: {pulp.value(x3):.2f} ч")
print(f"Минимальное энергопотребление: {pulp.value(prob.objective):.2f} кВт·ч")
```

В результате решения получены следующие оптимальные значения:

- $x_1^* = 8.00$ч
- $x_2^* = 10.00$ч
- $x_3^* = 0.00$ч

Минимальное энергопотребление: 230.00 кВт·ч.

Для сравнения был рассчитан «базовый» режим (равномерное распределение нагрузки по трём насосам): энергопотребление составило 250.00 кВт·ч. Экономия – 20 кВт·ч (8 %) за одну смену.

Таблица 1 – Сравнение режимов

Режим	x_1, ч	x_2, ч	x_3, ч	E, кВт·ч	Экономия, %
Оптимальный (ЛП)	8.00	10.00	0.00	230.00	8 %
Равномерный (базовый)	4.00	5.00	3.33	250.00	–

Рассмотрена математическая модель и её программная реализация позволяют эффективно решать задачу оптимизации энергопотребления в технических системах. Метод линейного программирования в сочетании с библиотекой PuLP обеспечивает быстрый расчёт оптимального режима даже для систем с десятками агрегатов [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баскакова Н. Т., Песин И. А. Концептуальные подходы в оптимизационном планировании ремонтов оборудования на металлургическом предприятии //Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. ГИ Носова. – 2013. – №. 1 (41). – С. 93-96.
2. Поляков П. С., Росляева М. Н., Прокин А. А. Линейное программирование как инструмент для принятия решений //E-Scio. – 2020. – №. 3 (42). – С. 569-575.
3. Аюпов Р. Ф., Давлетшина М. Р. Использование современных информационных технологий в теплоэнергетике //Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3. – №. 7-3. – С. 331-334.

АЛГОРИТМЫ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IOT И ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Рудаков В.А., студент 3 курса
Научный руководитель – ассистент **Михайлов И.С.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В условиях цифровизации металлургического производства одним из ключевых направлений повышения эффективности является переход от реактивного и планово-предупредительного обслуживания к предиктивному. Согласно данным, внеплановые простои оборудования на металлургических предприятиях приводят к потерям до 10–15 % от годового объёма производства [1]. Современные IoT-датчики (вибрации, температуры, давления) позволяют собирать большие объёмы данных в реальном времени. Анализ временных рядов с помощью статистических (ARIMA) и нейросетевых (LSTM) методов даёт возможность прогнозировать возникновение дефектов за 5–14 дней до их проявления. В настоящей работе разработана гибридная алгоритмическая модель и её программная реализация для системы охлаждения металлургического оборудования.

Рассматривается временной ряд вибрации Y_t(мм/с) центробежного насоса, получаемый с IoT-датчика каждые 10 минут. Задача – прогнозировать значение вибрации на горизонте 7 суток и выдавать сигнал о необходимости предиктивного обслуживания при превышении порога 4,5 мм/с.

ARIMA-модель (авторегрессия, интегрированное скользящее среднее):

$$(1-\sum_{i=1}^{p}\phi_i L^i)(1-L)^d Y_t = (1+\sum_{j=1}^{q}\theta_j L^j)\varepsilon_t \quad (1)$$

где p, d, q— порядок авторегрессии, дифференцирования и скользящего среднего.

LSTM-модель (долгая краткосрочная память) – рекуррентная нейронная сеть, способная учитывать долгосрочные зависимости во временных рядах.

Архитектура включает:

- Входной слой (последовательность длины 60),
- Два LSTM-слоя (по 50 нейронов),
- Полносвязный слой (1 нейрон).

Гибридная модель: остатки ARIMA подаются на вход LSTM для учета нелинейных эффектов.

Алгоритм включает следующие этапы:

1. Сбор и передача данных с IoT-датчиков.
2. Предобработка временного ряда (очистка, нормализация, проверка на стационарность).
3. Построение и обучение ARIMA-модели.
4. Построение и обучение LSTM-модели на остатках ARIMA.
5. Гибридное прогнозирование на заданном горизонте.
6. Сравнение прогноза с пороговыми значениями и генерация сигнала обслуживания.

4. Программная реализация

Реализация выполнена на языке Python 3 с использованием библиотек statsmodels, tensorflow (Keras) и pandas.

```
import pandas as pd
import numpy as np
from statsmodels.tsa.arima.model import ARIMA
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import LSTM, Dense
```

```
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler

# 1. Загрузка данных IoT
data = pd.read_csv('iot_vibration.csv', parse_dates=['timestamp'], index_col='timestamp')
series = data['vibration']
# 2. Предобработка
scaler = MinMaxScaler()
scaled = scaler.fit_transform(series.values.reshape(-1, 1))
# 3. ARIMA
model_arima = ARIMA(series, order=(2,1,2))
model_arima_fit = model_arima.fit()
residuals = model_arima_fit.resid
# 4. LSTM на остатках
X, y = [], []
for i in range(60, len(residuals)):
    X.append(residuals[i-60:i])
    y.append(residuals[i])
X, y = np.array(X), np.array(y)
X = X.reshape((X.shape[0], X.shape[1], 1))
model_lstm = Sequential()
model_lstm.add(LSTM(50, return_sequences=True, input_shape=(60, 1)))
model_lstm.add(LSTM(50))
model_lstm.add(Dense(1))
model_lstm.compile(optimizer='adam', loss='mse')
model_lstm.fit(X, y, epochs=20, batch_size=32, verbose=0)
print("Модели ARIMA и LSTM успешно обучены")
```

Код легко интегрируется в SCADA-систему через MQTT-протокол.

На реальных данных за 6 месяцев (≈25 000 записей) получены следующие метрики качества (горизонт прогнозирования – 7 суток):

Таблица 1 – Сравнение моделей

Модель	MAE, мм/с	RMSE, мм/с	Точность обнаружения дефекта, %	Время обучения, с
ARIMA	0.142	0.181	72	3.2
LSTM	0.098	0.127	85	48
Гибрид (ARIMA+LSTM)	0.071	0.092	93	51

Гибридная модель позволила обнаружить 93 % потенциальных отказов за 5–9 дней до проявления. Экономический эффект – сокращение внеплановых простоев на 15–20 %.
Рассмотрена гибридная модель ARIMA + LSTM и её программная реализация на Python позволяют эффективно решать задачу предиктивного обслуживания промышленного оборудования по данным IoT.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипенко А. А. Оценка состояния российской отрасли металлургического производства //Вестник Омского университета. Серия «Экономика». – 2022. – №. 3. – С. 5-15.
2. Петров И. М. и др. Практика применения нейросетевого моделирования в металлургии //Актуальные аспекты развития науки и общества в эпоху цифровой трансформации. – 2023. – С. 55-60.

3. Вендров А. М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем //М.: Финансы и статистика. – 1998. – Т. 176. – С. 2000.

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рудаков В.А., студент 3 курса
Научный руководитель – ассистент **Михайлов И.С.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Современные металлургические предприятия, активно переходят на цифровые технологии в рамках концепции Индустрия 4.0. Одной из главных особенностей такого перехода является генерация огромных объёмов данных: сотни и тысячи датчиков температуры, давления, электрических параметров, химического состава шихты и газовой среды работают с частотой от 1 до 10 Гц [1]. В результате за одни сутки на предприятии может накапливаться от нескольких десятков до сотен терабайт сырых данных.

Традиционные инструменты обработки данных, такие как библиотеки pandas и NumPy, предназначены для работы на одной машине и эффективно справляются лишь с данными объёмом до нескольких миллионов записей. При превышении этого порога возникают серьёзные проблемы с производительностью, памятью и временем обработки [2]. В этих условиях Apache Spark становится оптимальным решением как открытая распределённая платформа, способная обрабатывать петабайты данных на кластере из множества узлов.

В сочетании с языком Python (модуль PySpark) Apache Spark предоставляет удобный и мощный инструментарий для математического моделирования сложных технологических процессов. В настоящей работе предложен комплексный алгоритм обработки и анализа больших данных применительно к задаче моделирования температурного режима дуговой сталеплавильной печи. Разработанный подход позволяет не только существенно ускорить вычисления, но и повысить точность прогнозных моделей, что напрямую влияет на энергоэффективность, качество продукции и безопасность производства.

Рассматривается практическая задача прогнозирования температуры расплава T(в Кельвинах) в дуговой сталеплавильной печи по показаниям 12 технологических сенсоров. Ключевыми входными параметрами являются: сила тока дуги, напряжение, расход кислорода и природного газа, химический состав шихты (процент железа, углерода, примесей), температура отходящих газов и другие.

Математическая модель строится на основе линейной регрессии в матричной форме:

$$\mathrm{T} = \mathrm{X}\beta + \varepsilon \qquad (1)$$

где X – матрица признаков размерностью $n \times p(n > 10^7, p = 12)$, β – вектор неизвестных коэффициентов, определяемый методом наименьших квадратов, а ε – вектор случайных ошибок.

Для учёта нелинейных зависимостей, характерных для реальных металлургических процессов, дополнительно применяется модель случайного леса (Random Forest) из библиотеки Spark MLlib. Ограничения задачи включают:

- Минимальный объём обрабатываемых данных – не менее 10 миллионов записей;
- Максимальное время обработки на кластере из 4 узлов – не более 5 минут;
- Требуемая точность прогноза температуры – RMSE не выше 15 К.

Такая постановка позволяет решать задачу в условиях реального производства, где данные поступают непрерывным потоком.

Алгоритм решения состоит из семи последовательных этапов, каждый из которых оптимизирован для работы с большими данными:

1. Сбор больших данных с IoT-сенсоров металлургического оборудования.
2. Загрузка данных в распределённый Spark DataFrame.
3. Предобработка и очистка данных с помощью Spark SQL и фильтрации аномалий.
4. Инженерия признаков и отбор наиболее значимых переменных.

5. Построение и обучение математической модели с использованием Spark MLlib (линейная регрессия или Random Forest).
6. Оценка качества модели и проведение кросс-валидации.
7. Визуализация результатов и генерация итогового отчёта.

Программная реализация алгоритма выполнена на языке Python с использованием Apache Spark (PySpark) (рисунок -1).

Рис. 16 – Обобщенный алгоритм программы

Эксперимент проводился на синтетических данных объёмом 12,4 млн записей.

Таблица 1 – Сравнение производительности и точности моделей

Подход	Время обработки, мин	RMSE, К	R^2	Ускорение
Pandas + scikit-learn	87	18,4	0,82	1×
PySpark + LinearRegression	4,8	16,9	0,87	18×
PySpark + RandomForest	6,2	**12,7**	**0,93**	14×

Анализ результатов показывает, что применение Apache Spark не только значительно ускоряет обработку, но и повышает точность моделей за счёт возможности использования всего объёма данных без выборок. Экономический эффект от внедрения может составить сокращение энергозатрат на 3–5 % за счёт более точного управления процессом плавки.

Рассмотренные алгоритмы обработки и анализа больших данных на базе Apache Spark и Python эффективно решают актуальные задачи математического моделирования металлургических процессов. Предложенный подход обеспечивает значительное ускорение вычислений, повышение точности прогнозов и возможность работы с данными практически неограниченного объёма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хакимов З. А. ТРАНСФОРМАЦИЯ КЛАСТЕРОВ “ИНДУСТРИЯ 4.0” //Инновации и инвестиции. – 2022. – №. 3. – С. 207-213.
2. Гараджаева С. А. Инструменты управления большими данными. Hadoop, Mapreduce и платформа Apache Spark //Наука и мировоззрение. – 2025. – Т. 1. – №. 45. – С. 243-249.
3. Тархов Д. А. Нейронные сети. Модели и алгоритмы //М.: Радиотехника. – 2005. – Т. 18.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП КВГМ-4 АО «ЛИМКОРМ ПЕТФУД»

Рыбалко Д.О., студент 4 курса
Научный руководитель – ст. преподаватель, **Уварова Л.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Описание существующего уровня автоматизации

Объектом автоматизации является котел водогрейный газо-мазутный установленный в котельной АО «ЛимКорм Петфуд». Водогрейный котельный агрегат КВГМ-4 является энергетической установкой, в процессе эксплуатации которой с высокой динамикой изменяются связанные между собой технологические параметры.

Назначение водогрейного котла КВГМ-4 нагрев сетевой воды до температуры от 70 до 150° С, в зависимости от температуры наружного воздуха.

Автоматический водогрейный котел оснащен встроенной дутьевой горелкой, которая управляется блоком управления БУ 03

В Данный блок подключаются все элементы управления и контроля горелки (запальник, датчик пламени, реле газа, реле воздуха, клапана безопасности и т.д)

Температура устанавливается вручную оператором на внешнем блоке ТРМ1 компании ОВЕН

В котельной применяются:

Для измерения расхода газа и сетевой воды применяются сужающие устройства (диафрагмы) в комплекте с дифманометрами ДМ-3583М, которые преобразуют перепад давления в унифицированный токовый сигнал 4–20 мА для последующей обработки в системе.

Исполнительные механизмы МЭО-25 предназначены для перемещения регулирующих органов (клапанов, заслонок). Управление осуществляется по команде открыть/закрыть через блок управления. В процессе хода скорость вращения выходного вала постоянна, а движение ограничено одним полным оборотом.

Разрежение в топке котла измеряется при помощи преобразователя ДКО-3702. Сигнал с преобразователя поступает на регулятор РС 25.1 и дублируется на показывающем приборе, установленном в операторской комнате. В случае отклонения регулируемого параметра регулятор РС 25.1 или оператор вручную (с контролем по показывающему прибору), подает сигнал через усилитель на электродвигатель механизма исполнительного МЭО - 25, изменяющего положение направляющего аппарата дымососа.

Контур регулирования и контроля соотношения "газ-воздух".

Измерение давления газа и воздуха производится преобразователем ДМ-3583М. Сигнал, по напряжению, с преобразователя поступает на регулятор РС 25.0 и на показывающие приборы КСД-2, установленные в операторской.

В регуляторе РС 25.0 происходит сравнение поступающих сигналов (давление газа перед горелкой и давление воздуха в общем воздухопроводе) с заданным значением. Если регулируемый параметр отклоняется от заданного значения, то на входе электронного блока регулятора появляется сигнал рассогласования, который и управляет исполнительным механизмом МЭО - 25. Исполнительный механизм, с помощью регулирующего органа (заслонки), изменяет подачу воздуха. В данной системе ведется коррекция по заложенному в регулятор графику соотношения "газ - воздух".

Постановка задачи

В процессе проведения обследования установлено, что существующая система управления технологическими процессами не удовлетворяет современным требованиям по уровню автоматизации и степени защиты технологического оборудования, а именно:

Оборудование, используемое в системе технологического процесса и в системе противоаварийной защиты, давно снято с производства. Это существенно затрудняет закупку запасных частей и обслуживание.

Низкий уровень автоматизации ведет к неоправданному износу технологического оборудования и нерациональному расходованию всех видов производственных ресурсов.

Для устранения указанных недостатков предлагается комплексная модернизация:

— замена устаревшей измерительной периферии на современные средства измерений с отражением всех изменений в схемах КИПиА и автоматизации;

— обновление контроллеров устаревших поколений на актуальные модели с повышенной вычислительной мощностью и расширенными возможностями интеграции.

Реализация данных мер позволит не только повысить надёжность и стабильность работы объекта, но и снизить эксплуатационные расходы, тем самым повысив экономическую эффективность и рентабельность производства.

Разработка математического обеспечения

Математическое моделирование - это метод научного изучения, основанный на познании исследуемых процессов посредством математической модели. Этот метод основан на математическом подобии. Для математически идентичных объектов процессы имеют различную физическую суть, но представляются подобными уравнениями [1-5].

Разрабатываемая математическая модель для системы автоматического регулирования (САР) имеет в себе три контура регулирования:

1. Контур регулирования по температуре.
2. Контур регулирования по расходу газа.
3. Контур регулирования по расходу воздуха.

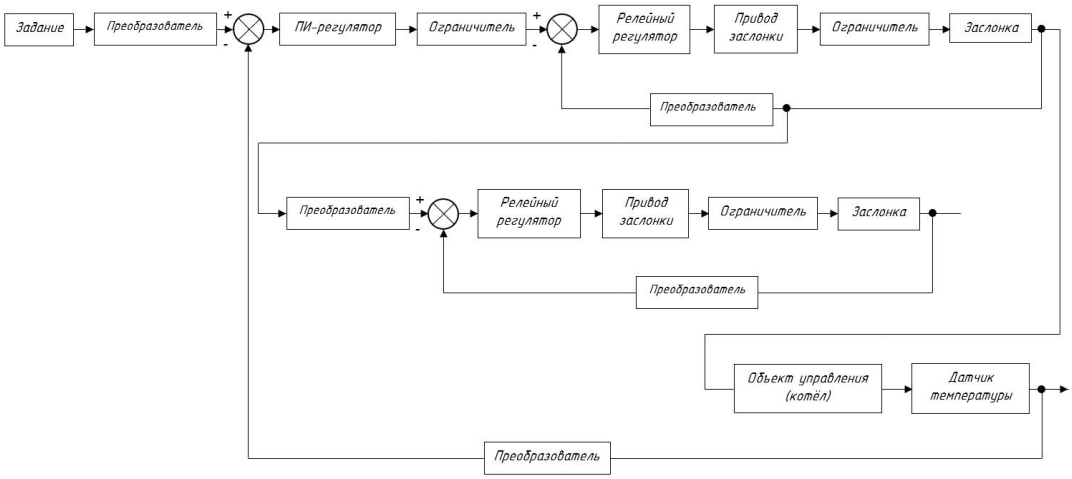


Рис. 1 – Функциональная схема модернизируемой САР

где $W_{зоны}$ – задание по температуре в зоне печи; $W_{воздуха}$ – задание по расходу воздуха; $W_{газа}$ – задание по расходу газа; $T_{зоны}$ – температура в зоне печи; $G_{воздуха}$ – расход воздуха; $G_{газа}$ – расход газа.

При моделировании удобно описать систему апериодическим звеном второго порядка, разбив его на две составляющие, описываемые апериодическими звеньями первого порядка для описания датчика, измеряющего температуру воды и самого котла.

$$W_1(S) = W_1^1(S) * W_1^2(S) = \frac{1}{T_{датч}S+1} * \frac{K_{об}}{T_{об}S+1}, \quad (1)$$

$$W_1(S) = W_1{}^1(S) * W_1{}^2(S) = \frac{1}{T_{датч}S+1} * \frac{K_{об}}{T_{об}S+1} \quad (2)$$

Представим модель преобразования расхода газа Q (м3/ч) в температуру (оС) следующей передаточной функцией:

$$W_1^2(S) = \frac{K_{об}}{T_{об}S + 1}, \qquad (3)$$

где входной параметр – расход газа Q и выходной – температура Θ.

Параметр модели К – определен исходя из того, что согласно наблюдениям обслуживающего персонала, известно, что при работе котла в установившемся режиме при несущественных колебаниях температуры воды возле величины 120 ºС расход газа, согласно показаниям датчика, составляет 1873 м3/ч. Причем выход на новое значение температуры при изменении расхода газа составляет 34 мин. Вода в котел поступает с деаэратора с температурой 50 оС, что необходимо учесть при расчете коэффициента усиления объекта.

Параметр модели Коб – определен из соотношения величин в установившемся режиме. Получаем:

$$\boxed{K = \frac{\Theta^{уст}}{Q^{уст}} = \frac{120 - 50}{1873} = 0.0566}$$

Постоянная времени для апериодического звена первого порядка ориентировочно равна 1/3 от времени переходного процесса, которое по опытным данным составляет 34 мин. То есть Т=11.3 мин.

Передаточная функция котла КВГМ – 4будет иметь вид:

$$W_1^2(S) = \frac{0.0566}{11.3S + 1}$$

Модель датчика температуры представили в виде апериодического звена первого порядка (тепловой объект) с коэффициентом усиления равном 1.

. $$W_1^1(S) = \frac{1}{T_{датч}S + 1}. \qquad (4)$$

Постоянная времени для апериодического звена первого порядка ориентировочно равна 1/3 от времени переходного процесса, которое согласно технической инструкции составляет 3.03 мин. То есть Тдатч=1.01 мин.

Исходя из выше сказанного, модель датчика измерения температуры будет иметь вид:

$$W_1^1(S) = \frac{1}{1.01S + 1}$$

Изменение проходного сечения исполнительного механизма для контура расхода газа, следовательно и расхода газа, осуществляется путём перемещения рабочего органа перпендикулярно направлению потока газа.

Передаточная функция ИМ представляется идеальным интегрирующим звеном, по каналу сигнал на электродвигатель – процент открытия заслонки:

$$W_2(S) = \frac{K}{Tp * S} \qquad (5)$$

где К=100 – коэффициент передачи задвижки, за время Тр=25 сек.

Для получения передаточной функции по каналу процент открытия задвижки – расход газа требуется, последовательно с интегрирующим звеном использовать коэффициент усиления Кус, преобразующий процент открытия задвижки в расход газа. Для используемого ИМ МЭО25, предполагается расход 2340 м3/ч, при полностью открытой заслонке.

Тогда передаточная функция примет вид:

$$W_2(S) = W_2(S) * K_{ус} = \frac{1}{0.42 * S} * 23.4 \qquad (6)$$

$$W_2(S) = W_2(S) * K_{ус} = \frac{1}{0.42 * S} * 23.4$$

Управляющим устройством в локальном контуре поддержания требуемого расхода газа и воздуха является 3-х позиционный клапан.

Пропорциональный – регулятор. Основным достоинством П - регуляторов является их простота. При появлении возмущающих воздействий такой регулятор быстро приводит систему регулирования в равновесное состояние. Однако из-за свойственного П - регулятору наличия статической ошибки, точность регулирования, обеспечиваемая такими регуляторами, сравнительно невелика. Поэтому П - регулятор можно применять там, где по техническим условиям при функционировании АСР на объекте регулирования допускается наличие статической ошибки регулирования.

ПИД - регулятор – обеспечивают достаточно высокое качество регулирования объекта и не допускает остаточное отклонение регулируемой величины.

Математическая модель ПИ - закона регулирования имеет следующий вид:

$$U(t) = Kp \cdot e(t) + Ku \cdot \int_0^T e(t)dt\,. \qquad (7)$$

ПИ регулятор вырабатывает регулирующее воздействие, пропорциональное отклонению к интегралу от отклонения регулируемой величины.

В систему управления введены элементы приведения сигнала из физических величин к электрическому стандартному токовому сигналу 4-20 мА, это коэффициенты К1, К2, К3, К4 и К5. Причем блоки К1 и К2 преобразуют сигнал характеризующий изменение температуры в ºС, К3 преобразует сигнал характеризующий изменение расхода газа м3/ч, К4 и К5 преобразуют сигнал характеризующий изменение расхода воздуха м3/ч.

Так как значение расхода газа изменяется в пределах от 0 м^3/ч до 2340 м^3/ч, то для расчета К3: x_1^2 =0 м^3/ч, x_2^2 =2340 м^3/ч, y_1^2 =4 мА, y_2^2 =20 мА, тогда:

$$y^2 = \frac{16}{2340} \cdot x^2 + 4$$

Так как значение расхода воздуха изменяется в пределах от 0 м^3/ч до 23400 м^3/ч, то для расчета К4 и К5: x_1^3 =0 м^3/ч, x_2^3 =23400 м^3/ч, y_1^3 =4 мА, y_2^3 =20 мА, тогда:

$$y^3 = \frac{16}{23400} \cdot x^3 + 4$$

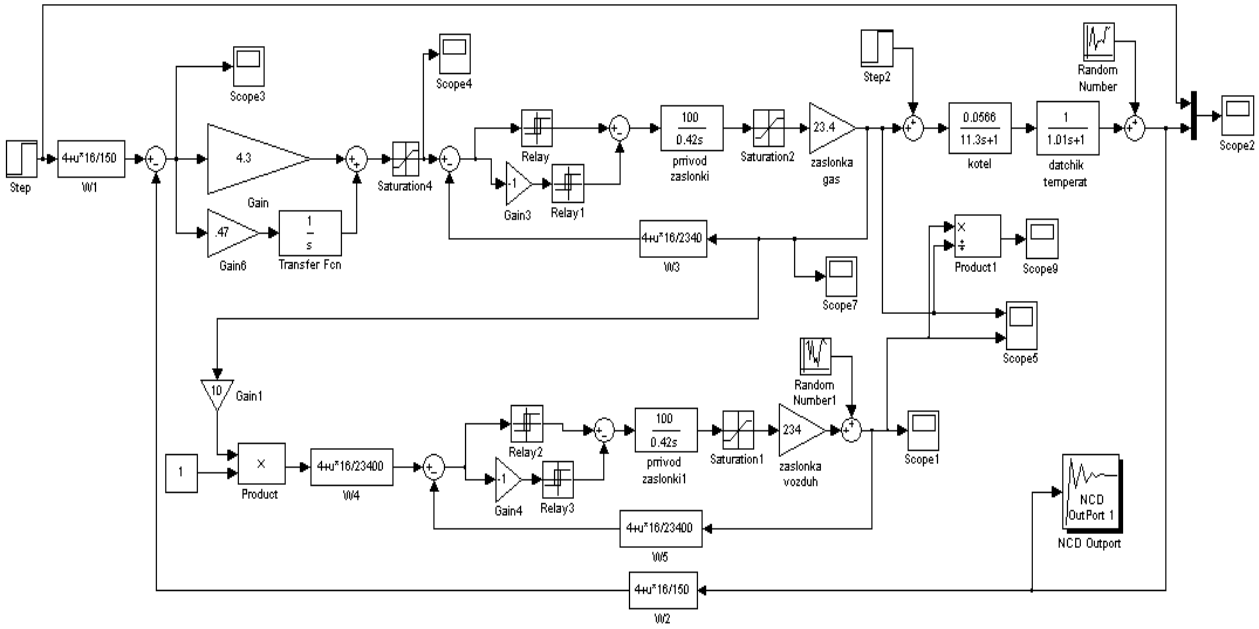


Рис. 2 – Математическяа модель

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривоносов В. А. Проектирование систем. Методические указания к выполнению курсовой работы. Старый Оскол, СТИ НИТУ МИСиС, 2014. - 15с. URL: [http://mirznanii.com/a/281287/metodicheskie-ukazaniya-k-vypolneniyu-laboratornykh-rabot-dlya-studentov-spetsialnostey-220301-avtomatizatsiya-tekhnologicheskikh-protsessov-i-proizvodstv]
2. 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.
3. Иванов А. А. Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие / А.А. Иванов. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : ФОРУМ, ИНФРА-М, 2018. - 224 с.5.
4. Фёдоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУ ТП: Проектирование и разработка. Учебно-практическое пособие - М.: Инфра-инженерия, 2008, 928 с. URL: [https://www.studmed.ru/fedorov-yun-spravochnik-inzhenera-po-asutp-proektirovanie-i-razrabotka_c21fa08a9cf.html]

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПАССАЖИРСКОГО ЛИФТА

Ряполов К.И., студент 4 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Моторина Н.П.**
Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Объектом исследования является электропривод лифта жилого многоквартирного дома. Основная цель – модернизация системы управления установленного лифта для достижения: плавного пуска/останова и движения кабины; исключение бросков тока, момента на валу двигателя; увеличение срока службы механической и электрической частей; энергоэффективной эксплуатации оборудования[1, 2].

Лифт ЛП-0401К ОАО «Зенит» холдинга «Могилевлифтмаш» эксплуатируется АНО «Мослифтстройтрест» (МЛСТ). АНО МЛСТ относится к строительным трестам, созданным правительством города для комплексного решения вопросов строительства, капремонта и благоустройства, направленных на улучшение качества городской среды и инфраструктуры столицы[1].

Электропривод лифта представляет собой сложную систему для подъема и спуска людей (в отдельных случаях допускается подъем/спуск грузов в сопровождении пассажиров), включающую ряд ключевых компонентов: лебедка, кабина, противовес, направляющие кабины и противовеса, редуктор, двери шахты, ограничитель скорости, электрооборудование и кабели, узлы и детали приямка. Конструкция обеспечивает вертикальное перемещение кабины по направляющим; достаточный уровень надежности, долговечности; соответствие требованиям безопасности, эргономики.

Основными компонентами электропривода лифта являются: электродвигатель, редуктор, тормозная система, электронный контроллер, кабельное оборудование. Электронный контроллер – центральный управляющий модуль привода для координации взаимодействия всех компонентов системы, принимающий команды от панели управления датчиков, регулирующий работу двигателя и редуктора, контролирующий положение кабины, скорость движения и состояние дверей, обеспечивающий защиты. В таблице 1 приведены технические характеристики лифта[1, 3].

Таблица 1 - Технические характеристики пассажирского лифта ЛП-0401К

Срок эксплуатации, лет	25
Номинальная грузоподъемность, кг	400
Число пассажиров (не более)	5
Номинальная скорость движения кабины, м/с	1,0
Высота подъема, м	23

Общий вид и кинематическая схема лифта приведены на рисунке 1.

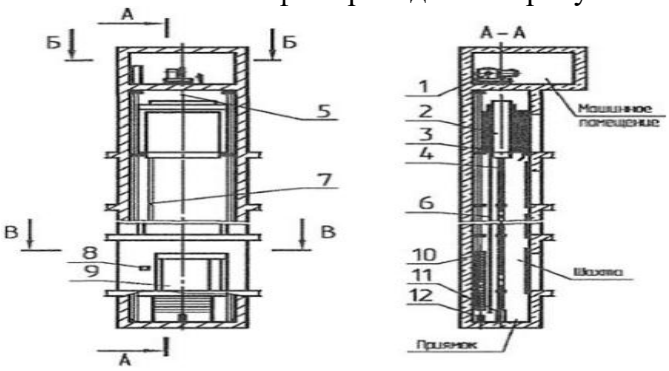


Рис. 1 – Общий вид и кинематическая схема лифта ЛП-0401К

В лифте установлен асинхронный двигатель, технические характеристики, которого представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики электродвигателя АИР132S6

Номинальная мощность, кВт	5,5
Номинальная частота вращения, об/мин	960
Напряжение питания, В	380
Частота сети, Гц	50
КПД, %	84
Коэффициент мощности cos φ	0,77
Кратность критического момента, ((Мк/Мн)	2,1
Кратность пускового момента (Мп/Мн)	2,1
Кратность пускового тока (Iп/Iн)	6,5
Момент инерции, кг· м^2	0,05
Режим работы	S1 (продолжительный)
Класс изоляции	F

Для выполнения модернизации электропривода пассажирского лифта в жилом доме было принято решение создать новую систему управления с преобразователем частоты (ПЧ) взамен существующей системы электропривода. Создаваемая система должна соответствовать всем техническим требованиям, которые предъявляются к безопасной и экономичной работе лифта с аналогичными или более высокими производительностью и энергоэффективностью. Для этого был произведен расчет и проверка параметров двигателя, выполнена проверка соответствия его по условиям нагрева методом эквивалентного момента[2-5].

Нужно составить схему замещения для анализа режимов работы частотно-регулируемого асинхронного электропривода и рассчитать следующие параметры: полную потребляемую мощность, токи (пусковые, холостого хода, номинальные), значения активных сопротивлений статора и ротора, индуктивностей цепи статора, ротора и ветви намагничивания, для настройки системы управления электроприводом, моделирования переходных процессов в частотно-регулируемых электроприводах.

По рассчитанным параметрам был промоделирован прямой пуск двигателя. Составлена модель прямого пуска и получены результаты моделирования с погрешностями до единиц процентов от номинальных и расчетных величин. На рисунке 2 приведен один из графиков – результатов моделирования: зависимость электромагнитного момента от времени при прямом пуске двигателя[4,5].

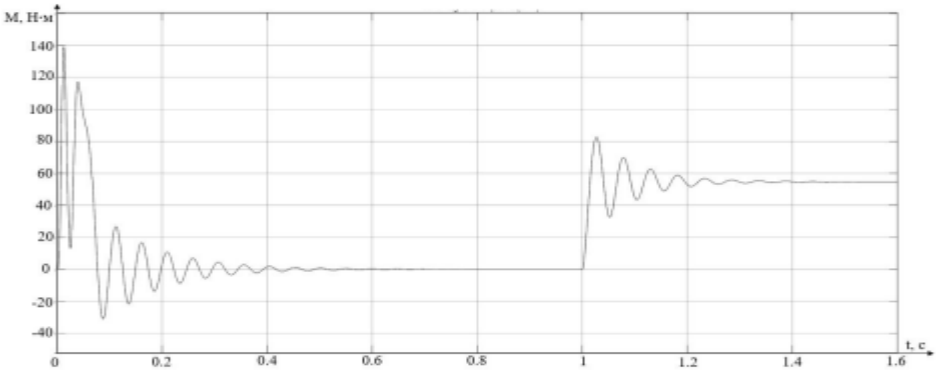


Рис. 2 – График зависимости момента двигателя от времени при прямом пуске

В работе выбран преобразователь частоты (ПЧ) для частотного привода. Ключевыми параметрами при выборе устройства выступают номинальная мощность электродвигателя и его номинальный ток. ПЧ должен быть согласован с двигателем по характеристикам, чтобы обеспечить надежное и безопасное функционирование системы ПЧ-АДК. Учитывая особенности работы электропривода лифта, выбран преобразователь INSTARTLCI-G7.5/P11-4 с векторным принципом управления. ПЧ имеет определенный запас по току для возможных кратковременных превышений относительно номинальных значений.

Обеспечение режимов работы лифта требует, чтобы ПЧ был укомплектован тормозным модулем, тормозным резистором, датчиком скорости – инкрементальным энкодером (серия ПЧ поддерживает инкрементальные энкодеры) и соответствующую плату расширения для подключения энкодера к ПЧ. В ПЧ серии LCI можно реализовывать векторное управление с замкнутым контуром двигателя с различной нагрузкой. Подключение дифференциального кодера осуществим платой расширения LCI-PGI. В таблице 3 приведены технические характеристики датчика PRI 50AR6 фирмы OPKON.

Таблица 3 – Параметры датчика PRI 50AR6

Название параметра	Значение параметра
Разрешение, имп/об	2048
Максимальная скорость, об/мин	3500
Напряжение питания, В	5…24
Степень защиты	IP54
Рабочая температура, ℃	-20…+80

Построена модель векторного управления асинхронным электродвигателем (рис.3).

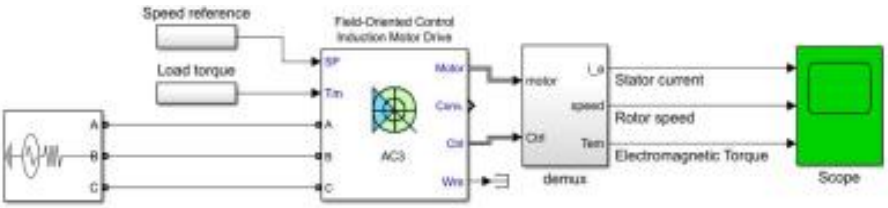


Рис. 3 – Модель электропривода

Для запуска модели необходимо задать параметры электродвигателя в маске блока Field-Oriented Control Induction Motor Drive. Среди параметров маски для выполнения моделирования: номинальная мощность двигателя, питающее напряжение, номинальная частота вращения, активное и реактивное сопротивление обмоток, момент инерции, приведенный к валу двигателя и число пар полюсов. Заполняется также маска параметров звена постоянного тока: значение сопротивления тормозного резистора и емкости сглаживающего конденсатора.

Рассмотрим модель частотно-регулируемого электропривода с векторным полеориентированным управлением (рис.4)[4,5].

Вектор тока статора во вращающейся *dq*-системе координат разделяется на две компоненты: продольную составляющую I_{Sd}, отвечающую за формирование магнитного поля, и поперечную I_{Sq}, которая определяет создаваемый электромагнитный момент. Для обеспечения точного и стабильного выполнения заданного движения, а также надежной работы привода в целом, было принято решение применить линейные регуляторы тока, скорости и потокосцепления. Заранее определялись соответствующие коэффициенты для каждого регулятора.

Системы регулирования потока и скорости представляют из себя двухконтурные системы, внутренними контурами которых являются контуры проекций тока статора. Контур

составляющей тока I_d настроим на технический оптимум (ТО). Определена передаточная функция (ПФ) разомкнутого контура по выражению (1):

$$\boxed{W_{ж.раз.}(p) = \frac{1}{2T_\mu p \cdot (T_\mu + 1)}}, \quad (1)$$

где T_μ – суммарная некомпенсируемая постоянная времени контура, с.

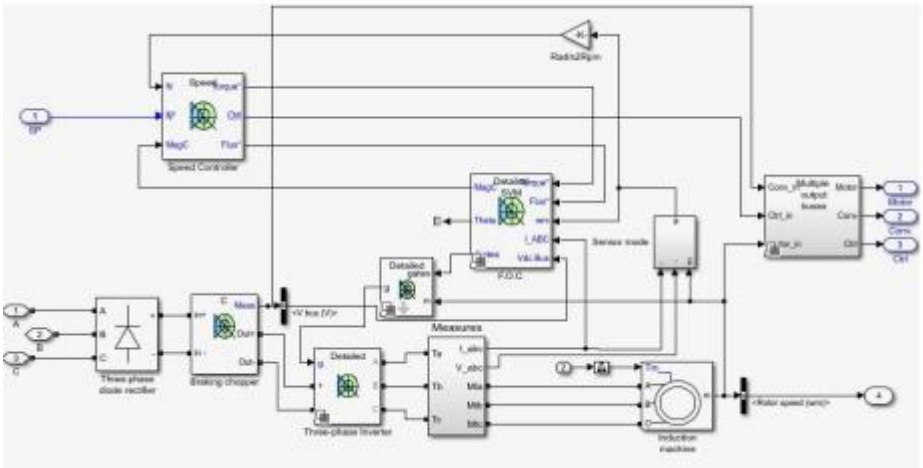


Рис. 4 – Модель частотно частотно-регулируемого электропривода с векторным полеориентированным управлением

Передаточная функция регулятора скорости описывается выражение (2)

$$\boxed{W(p) = \frac{1}{2T_\mu p \cdot (T_\mu + 1)} \cdot \frac{T_\mu + 1}{1} \cdot \frac{(T_S + 1) \cdot R_S}{1} = \frac{(T_S + 1) \cdot R_S}{2T_\mu p}}, \quad (2)$$

T_S – постоянная времени статорной цепи, определяется по формуле (3):

$$\boxed{T_S = \frac{L_{1\sigma} + L_m}{R_S}}, \quad (3)$$

R_S – сопротивления статорной цепи (активное), Ом;
$L_{1\sigma}$ – индуктивность рассеяния статора, мГн.

Найдены также коэффициенты П и И частей. Линейные регуляторы тока статора по продольной и поперечной составляющей имеют одинаковую структуру. Поэтому значения пропорциональной и интегральной составляющей ПИ регуляторов будут идентичны.

Внешним контуром регулирования является регулятор скорости двигателя (внутренним контуром будет контур по составляющей тока I_q). Получены: желаемые передаточные функции разомкнутого контура скорости, настроенного на СО; передаточная функция регулятора скорости; коэффициенты П и И составляющих.

Внешним для контура от составляющей тока статора I_d будет контур регулирования потокосцепления ротора. Аналогично для этого контура определены: структура; ПФ объекта регулирования; коэффициенты П и И составляющих.

Составлена структурная схема блока векторного полеориентированного управления [4,5].

В результате проведенных расчетов была выполнена модель предлагаемой системы электропривода с использованием MATLAB / Simulink. В ходе моделирования воспроизводился процесс движения лифта. На первом этапе привод разгоняется до номинальной скорости. Далее кабина лифта поднимается на необходимый этаж с номинальной скоростью движения. Затем, подъезжая к необходимому этажу, начинается процесс торможения и лифт останавливается. Результаты моделирования подтверждают, что разработанная система электропривода полностью удовлетворяет предъявляемым

требованиям к приводу механизма подъема лифта. Она обеспечивает стабильное поддержание крутящего момента и скорости в процессе подъема лифта с грузом.

Выводы. Произведен подбор требуемого оборудования для реализации системы управления с векторным законом управления. На основании внедрения векторного управления произведен расчет коэффициентов по току и потоку. Построена модель электродвигателя с векторным управлением, результатом работы которой стали графики, по которым сформирован вывод о проделанной работе:

- номинальные значения по моменту, току и скорости соответствуют паспортным данным электродвигателя;
- внедрение векторного управления в систему привело к отсутствию скачков тока, что увеличит срок службы двигателя как по механической части, так и по электротехнической;
- график движения указывает на плавные разгон и остановку двигателя, что даст комфорт для жильцов дома.
- В связи с этим реже требуется техническое обслуживание и ремонт лифта и электродвигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт ОАО «Зенит» [Электронный ресурс] – режим доступа – URL: https://https://zenit-mos.com (дата обращения: 15.07.2025).
2. Официальный сайт АНО «Мослифтстройтрест» [Электронный ресурс] – режим доступа – URL: https://https://mlst.tilda.ws (дата обращения: 13.07.2025).
3. Классификация лифтов [Электронный ресурс] - режим доступа – URL: https://niic-ekspert.ru/articles/klassifikaciya-liftov (дата обращения: 18.01.2026).
4. Драчев Г. И. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому проектированию. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2002.– 137 с.
5. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. — М.: Академия, 2006. – 265 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ООО «АЛЬЯНС»

Савинов А.К., студент 4 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Моторина Н.П.**
Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В электромеханическом цехе ООО «Альянс» эксплуатируется несколько типов центробежных насосов различной производительности и напора. Важной особенностью центробежных насосов является зависимость их характеристик от частоты вращения рабочего колеса. Производительность насоса прямо пропорциональна частоте вращения, напор пропорционален квадрату частоты вращения, а потребляемая мощность пропорциональна кубу частоты вращения. Эти зависимости позволяют эффективно регулировать режим работы насоса путем изменения частоты вращения электродвигателя. Для обеспечения циркуляции охлаждающей воды в системе оборотного водоснабжения используются центробежные насосы типа К200-150-315. Характеристики центробежного насоса, представленные на рисунке 1, показывают взаимосвязь между производительностью, напором и КПД насоса[1, 3, 6].

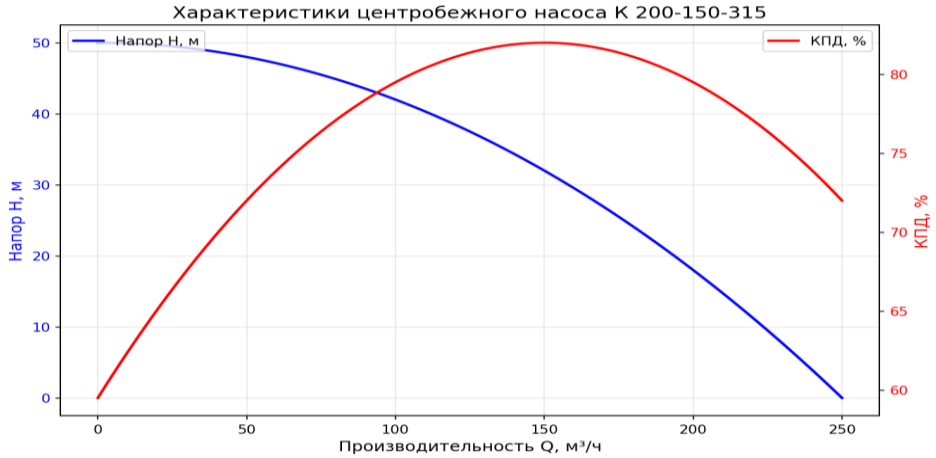


Рис. 1– Характеристики центробежного насоса К200-150-315

Оптимальный режим работы соответствует максимальному значению КПД, что обеспечивает наименьшие энергетические затраты на перекачку жидкости. Отклонение от оптимального режима приводит к снижению эффективности работы насоса и увеличению энергопотребления[3, 6].

На рисунке 2 приведен внешний вид насосного агрегата К200-150-315.

Рис. 2 – Внешний насосного агрегата К200-150-315

Основные технические характеристики насоса К200-150-315 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики насоса К200-150-315

Параметр	Значение
Производительность номинальная, м³/ч	315
Напор номинальный, м	32
Частота вращения, об/мин	1450
Мощность электродвигателя, кВт	45
КПД насоса, %	78
Допустимый кавитационный запас, м	5,5
Масса насоса (без электродвигателя), кг	385
Температура перекачиваемой жидкости, °С	до 85
Максимальное рабочее давление, МПа	1,6

Для привода насоса К200-150-315 используется асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором типа АИР200L4, внешний вид которого изображен на рисунке 3.

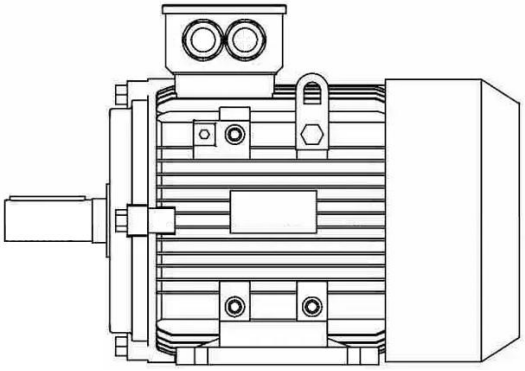


Рис. 3 – Внешний вид электродвигателя АИР200L4

Технические характеристики электродвигателя АИР200L4 приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики электродвигателя АИР200L4

Параметр	Значение
Номинальная мощность, кВт	45
Номинальное напряжение, В	380/660
Синхронная частота вращения, об/мин	1500
Номинальная частота вращения, об/мин	1475
КПД, %	92,5
Коэффициент мощности cos φн	0,87
$I_п/I_н$	7,2
$M_п/M_н$	2,0
$M_к/M_н$	2,3
Масса, кг	465
Степень защиты	IP54

Существующая схема управления двигателем типовая релейно-контакторного типа, включающая основные элементы: автоматический выключатель, магнитный пускатель, тепловое реле, кнопочный пост, сигнальные лампы для индикации состояния привода. Планируется модернизация системы управления с применением частотного преобразователя,

что позволит регулировать производительность насоса в зависимости от потребностей технологического процесса. Применение частотно-регулируемого привода обеспечит значительную экономию электроэнергии за счет исключения дросселирования и работы насоса с оптимальным КПД во всем диапазоне производительности[2, 4-6].

С целью получения результатов режимов работы частотно-регулируемого асинхронного электропривода, нужно знать его параметры, такие как: активные сопротивления статора, ротора. (R_1, R_2'); значения индуктивностей цепи статора, ротора и ветви намагничивания (L_1, L_2', L_m). Составлена схема замещения двигателя. Это необходимо для получения модели электропривода, ее параметров настройки системы управления электроприводом, моделирования переходных процессов. Выполнено моделирование в системе MATLAB / Simulink (рис. 4). Полученные результаты модели прямого пуска двигателя сравнивались с вычисленными[1, 4-5].

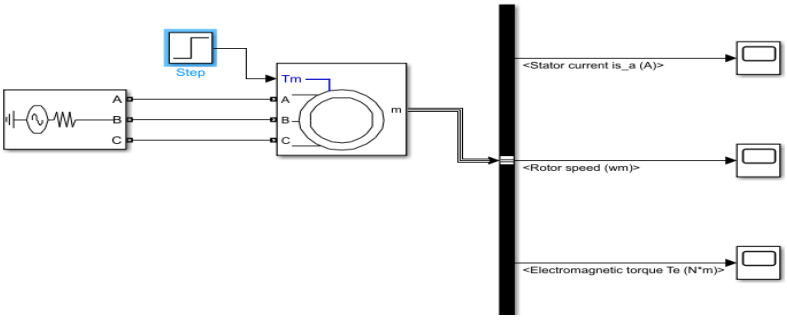


Рис. 4 – Модель прямого пуска асинхронного двигателя.

На рисунке 5 приведены введенные параметры двигателя для моделирования.

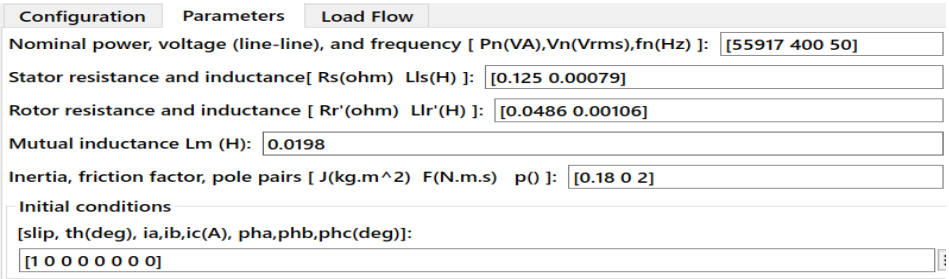


Рис. 5 – Параметры двигателя

В рамках модернизации системы для обеспечения циркуляции охлаждающей воды в системе оборотного водоснабжения электромеханического цеха предприятия выбрана система ПЧ-АД со скалярным управлением для регулирования давления в трубопроводной сети. Функционирование насосной группы построено на принципе поочередного включения агрегатов. Второй насос имеет возможность активироваться в режиме ступенчатого ведомого привода. Такая конфигурация системы позволяет обеспечить оптимальное давление в трубопроводе и повысить энергоэффективность работы насосного оборудования за счет плавного регулирования частоты вращения двигателей[4, 5].

В качестве основного оборудования для управления насосами выбран преобразователь частоты INSTART модели LCI-G37/P45. Особенностью проектируемой системы является индивидуальный подход к каждому насосу — для каждого агрегата предусматривается собственный ПЧ. Такой подход имеет ряд важных преимуществ: значительно упрощается общая схема управления, уменьшается количество задействованных рабочих механизмов, повышается надежность всей системы. Выбранная система позволяет создать надежную и гибкую систему управления насосным оборудованием, способную адаптироваться под различные режимы работы и обеспечивать оптимальное функционирование каждого агрегата[5,6].

Насосы функционируют по принципу чередования: один работает, второй находится в режиме резерва. При возникновении аварии на работающем насосе система мгновенно активирует второй преобразователь частоты, который запускает резервный насос. Дополнительно предусмотрен каскадный режим, который можно активировать по необходимости. Второй насос может включиться через определенный временной интервал параллельно с первым при падении текущего давления ниже заданного значения. Это позволяет повысить давление в трубопроводе. Регулировка давления осуществляется ПЧ путем изменения скорости вращения двигателей насосов. Отключение второго насоса происходит автоматически при превышении текущим давлением заданного значения. На рисунке 5 приведена модель асинхронного двигателя со скалярной системой управления[1-6].

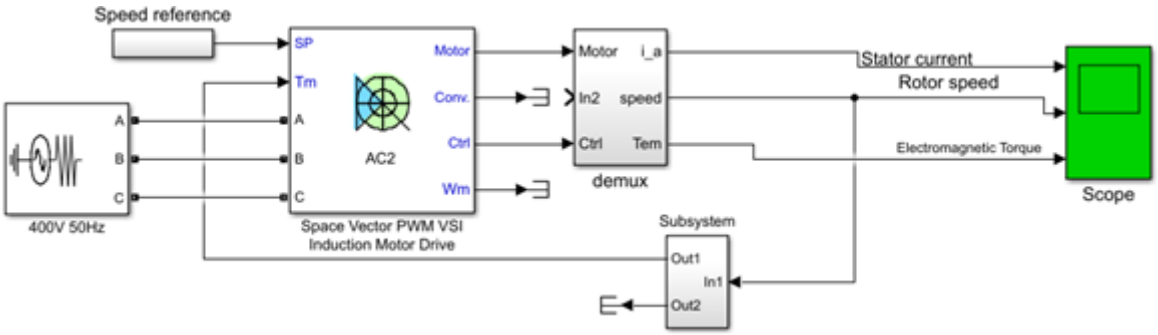


Рис. 5 – Модель электропривода со скалярной системой управлением в MATLAB/Simulink

Структура модели включает в себя блок формирования закона управления, модуль пространственно-векторной модуляции, трехфазный диодный выпрямитель, фильтрующий (сглаживающий) конденсатор, трехфазный инвертор, а также сам асинхронный двигатель. В данной модели применяется метод пространственно-векторной модуляции[3, 5, 6].

На основании проведённых расчетов была выполнена имитационная модель предлагаемой системы электропривода в среде MATLAB / Simulink. Электродвигатель центробежного насоса марки АИР200L4 постепенно выходит на номинальный режим работы, достигая скорости вращения 1475 об/мин. После выхода на заданную скорость насос работает стабильно в течение пяти секунд, после чего начинается плавное замедление. Через десять секунд двигатель полностью останавливается, что указывает на корректную реализацию режима торможения.

В результате моделирования были получены графики, отображающие изменение тока в обмотках статора, скорость вращения ротора и электромагнитный момент на его валу.

Анализ кривой тока показал, что при запуске двигателя ток не превышает допустимые значения, определяемые перегрузочной способностью частотного преобразователя. Номинальный ток также соответствует значениям, приведённым в техническом паспорте электродвигателя. График скорости ротора подтвердил точное соответствие между расчетными и смоделированными значениями, что свидетельствует о корректной настройке системы.

На рисунке 6 приведены результаты имитационного моделирования системы ПЧ – АДК со скалярным методом управления.

Таким образом, результаты моделирования подтверждают правильную работу разработанной системы электропривода, обеспечивая необходимые параметры стабильности и плавности функционирования. Система позволяет обеспечить изменение давление в трубопроводе и обеспечить энергетическую эффективность работы[3, 5, 6].

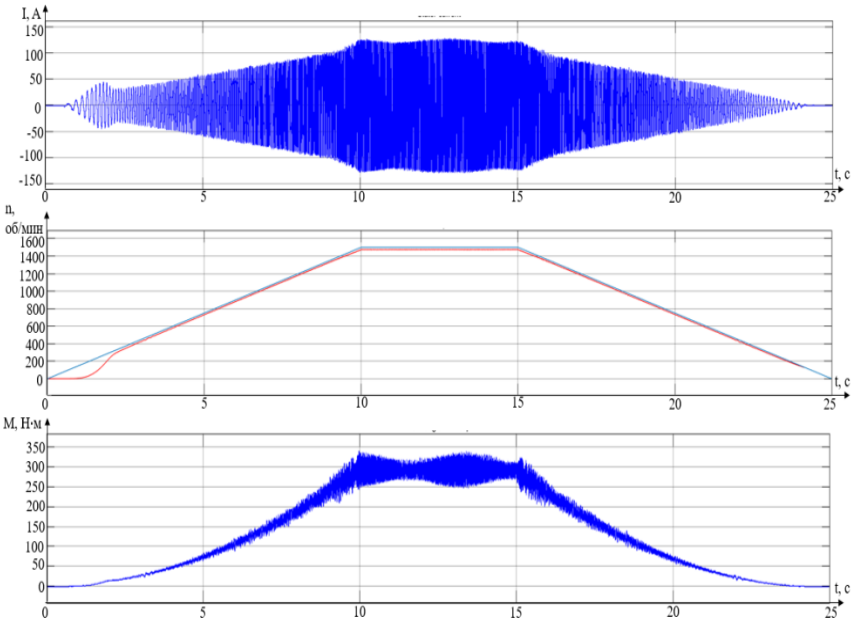


Рис. 6 – Графики результатов моделирования системы ПЧ-АДК

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. - М.: Академия, 2004. - 256 с. – Текст: непосредственный.

2. Ильинский Н.Ф. Основы электропривода: Учебное пособие для вузов. - М.: МЭИ, 2007. - 224 с. – Текст: непосредственный.

3. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции: Учебник для вузов. - М.: Стройиздат, 2010. - 315 с. – Текст: непосредственный.

4. Лезнов Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. - М.: Машиностроение, 2013. - 176 с. – Текст: непосредственный.

5. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений. - М.: Академия, 2006. - 272 с. – Текст: непосредственный.

6. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 416 с. – Текст: непосредственный.

СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ БЛЮМОВ В УСЛОВИЯХ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Савостин М.В., магистр 1 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Полещенко Д.А.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Постановка задачи исследований

На участке загрузки нагревательной печи стальные блюмы движутся по рольгангу при температурах от комнатной до 1300 °C. В зависимости от температуры меняется цвет свечения металла: до 700 °C блюм остаётся тёмным или приобретает синий оттенок из-за окалины; в диапазоне 800–1000 °C он светится насыщенным красным; при 1100–1300 °C переходит в ослепительно-белое каление, при котором яркость свечения может в сотни и тысячи раз превышать яркость окружающего фона. Кроме того, в зоне загрузки постоянно присутствуют густой пар от испарения влаги, клубы дыма от сгорания технологической смазки и интенсивные блики от работающих газовых горелок внутри печи.

Классические методы компьютерного зрения, основанные на пороговой обработке и поиске контуров по перепадам яркости, в таких условиях полностью теряют работоспособность. Алгоритмы, успешно работающие на холодном металле, дают сбои при смене цветового режима, а наличие движущейся окалины создаёт ложные контуры, которые ошибочно принимаются за границы блюма.

Цель данной работы – разработать метод семантической сегментации блюмов, устойчивый к тепловому излучению, изменению цвета свечения, задымлению и наличию окалины, и обеспечивающий выделение точной маски блюма на каждом кадре с частотой не менее 25 Гц.

Предлагаемый метод

Выбор архитектуры нейронной сети. В качестве базовой архитектуры выбрана модель YOLOv8-seg (You Only Look Once, версия 8 с поддержкой сегментации), разработанная компанией Ultralytics. YOLO относится к семейству одноэтапных детекторов, которые обрабатывают изображение за один проход через сеть, что обеспечивает высокую скорость инференса – до сотен кадров в секунду на мощном графическом процессоре. Версия YOLOv8-seg дополнительно предсказывает для каждого обнаруженного объекта не только ограничивающую рамку, но и пиксельную маску, что критически важно для точного выделения границ блюма, особенно когда эти границы размыты из-за засветки. Модель также поддерживает экспорт в форматы ONNX и TensorRT, что позволяет выполнять инференс на встраиваемых устройствах с аппаратным ускорением.

Формирование обучающей выборки. Поскольку сбор и разметка натурных данных на работающем металлургическом производстве крайне сложны и дороги, использована синтезированная выборка изображений. Исходными материалами послужили фотографии реального участка загрузки нагревательной печи, а также изображения раскалённого металла в различных температурных режимах, полученные с использованием пирометрического оборудования. Разметка выполнена в формате COCO: для каждого блюма вручную отрисован полигональный контур, точно повторяющий геометрию заготовки. Класс «упор» размечен ограничивающей рамкой. Торец блюма отдельно не размечается, так как в предлагаемом подходе он вычисляется геометрически из маски.

Аугментация данных для имитации тепловых помех. Для того чтобы модель научилась работать в условиях реального производства, обучающая выборка подвергается интенсивной аугментации. Применяются следующие преобразования: случайный поворот в пределах ±15 градусов; изменение яркости и контрастности в диапазоне ±25 процентов для имитации колебаний освещённости; добавление гауссовского шума с дисперсией до 0,01 для имитации

шумов камеры; горизонтальное отражение для увеличения разнообразия ракурсов; имитация засветки методом добавления белых пятен с последующим размытием по Гауссу – это критически важно для обучения работе с ослепительно-белым калением при 1100–1300 °C; добавление полупрозрачных масок дыма и пара различной плотности; изменение цветового баланса в сторону синих, красных и белых оттенков, чтобы модель была инвариантна к цвету свечения.

Принцип работы сегментационной модели. На вход модели подаётся цветной кадр с камеры. Модель YOLOv8-seg, обученная на аугментированной выборке, возвращает для каждого блюма в кадре бинарную маску – изображение того же размера, что и входной кадр, где каждый пиксель классифицирован как «блюм» или «фон». В отличие от детекции ограничивающих рамок, которые могут обрезать часть объекта или включать фоновые области, сегментация работает на пиксельном уровне. Это позволяет точно выделить блюм даже в тех случаях, когда его торец засвечен и не имеет чёткой границы, когда часть блюма скрыта паром или дымом, или когда окалина создаёт ложные контуры – модель продолжает корректно идентифицировать основное тело блюма.

Заключение

Предложенный метод семантической сегментации блюмов на основе YOLOv8-seg позволяет решить ключевую проблему систем компьютерного зрения на участке загрузки нагревательной печи – устойчивое выделение блюма в условиях интенсивного теплового излучения, изменения цвета свечения, задымления и наличия окалины.

Основные результаты работы заключаются в следующем. Выбрана архитектура YOLOv8-seg, обеспечивающая высокую скорость обработки (не менее 25 кадров в секунду) и пиксельную точность выделения границ. Разработана методика аугментации обучающей выборки, включающая имитацию засветки, дыма, пара и трёх цветовых режимов свечения – синего, красного и белого. Показано, что сегментация на пиксельном уровне принципиально устойчивее к частичному перекрытию объекта и ложным контурам по сравнению с детекцией ограничивающих рамок.

Внедрение семантической сегментации в систему контроля позиционирования блюмов позволит повысить надёжность автоматического управления рольгангом, снизить долю брака из-за неправильного нагрева и полностью исключить аварийные ситуации, связанные с переездом блюма за пределы допустимой зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement // arXiv preprint arXiv:1804.02767 (2018).

2. Jocher G. et al. Ultralytics YOLOv8 // GitHub repository: https://github.com/ultralytics/ultralytics (2023–2025).

3. Кирпичев В.Е., Иванов И.И. Применение нейронных сетей для контроля технологических процессов в металлургии // Вестник СТИ МИСИС. 2025.

4. ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ». Отчет об устойчивом развитии 2023.

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ НЕЧЕТКОГО КОМПЕНСАТОРА МЕЖЗОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ДЛЯ МНОГОЗОННОЙ ПЕЧИ НАГРЕВА МЕТАЛЛА

Савостин Н.В.
Научный руководитель - к.т.н. **Фомин А.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Металлургическое производство относится к числу наиболее энергоёмких отраслей, характеризующихся высоким потреблением топлива и энергетических ресурсов. В связи с чем задача повышения точности управления при подготовке металла к прокатке особенно актуальна.

Работы, направленные на повышение точности управления нагревательных печей, можно разделить на несколько направлений.

Первое направление включает исследования, ориентированные на совершенствование конструкции печей, в том числе за счёт использования рециркуляционных и рекуперативных горелок [1–3]. Однако реализация таких решений, как правило, требует существенной технической модернизации оборудования, что не всегда возможно в условиях непрерывного производства.

Второе направление связано с повышением точности управления ПИД-регулятора [4-5], с целью минимизации перерегулирования по температуре. Существенным ограничением данного подхода является относительно малое число переходных процессов по температуре по сравнению с общим временем работы печи, вследствие чего эффект от внедрения подобных методов может быть малозаметен.

Третье направление связано с математическими методами и разработкой математических моделей тепловых процессов, протекающих внутри печей [6–10]. Данные методы и модели могут быть использованы как для построения кривых нагрева металла, так и для решения задачи межконтурных взаимодействий. Но у них есть один ключевой недостаток.

Управление исследуемой нагревательной печью реализуется по классической схеме с обратной связью по выходной величине объекта управления. Для каждой из шести зон печи формируется отдельный контур регулирования температуры. Таким образом, в качестве основного алгоритма управления применяется ПИД-регулятор [11-15].

Каждая из зон оказывает заметное влияние на соседние зоны, расположенные по ходу движения перетока дымовых масс. Появляются межконтурные воздействия, которые не учитываются при работе отдельных регуляторов [16-17]. Их игнорирование приводит к снижению качества регулирования.

Поэтому для решения подобной задачи необходимо наличие точной, всеобъемлющей модели печи. Ключевым недостатком данного подхода является трудность точной формализации процессов, необходимо учитывать абсолютно все условия и факторы, влияющие на внутрипечное состояние. Поэтому для решения подобного рода задач, на помощь приходят методы, связанные с нечеткой логикой.

В связи с этим в рамках данной работы поставлена задача разработки нечеткого компенсатора, способного учитывать межконтурные влияния.

В ранних работах была создана модель печи нагрева металла, реализованная с использованием нейронной сети прямого распространения [18]. Полученная модель обеспечила ошибку порядка 8 °C по метрике MAE, что можно считать достаточным результатом для продолжения исследований, направленных на разработку нечеткого компенсатора межконтурных взаимодействий.

На следующем этапе была выполнена разработка нечеткого компенсатора, предназначенного для корректировки работы локальных контуров управления (рис. 1).

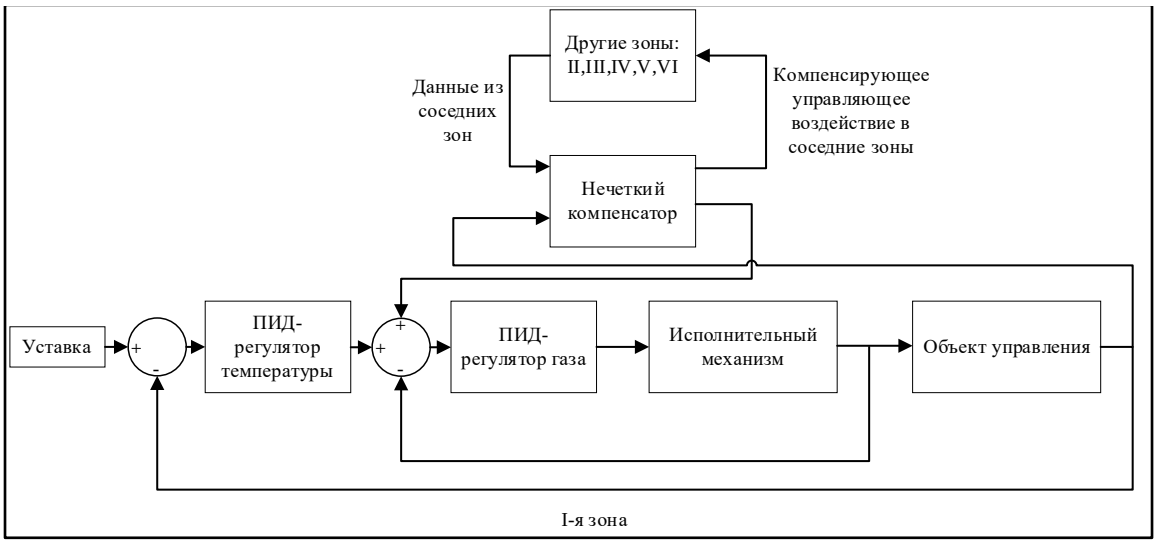


Рис. 1 – Функциональная схема контура управления I зоны печи с нечетким компенсатором

В качестве входов использовались изменения заданий по температуре в каждой зоне печи, текущее значение внутрипечного давления, ошибка по температуре в каждой зоне, а также счетчики времени (для коррекции компенсирующего воздействия с течением времени).

Выходными переменными нечеткого компенсатора являлись компенсирующие управляющие воздействия в виде изменения уставки расхода газа в каждую зону печи. Эти воздействия формируются с целью снижения негативного влияния межконтурных взаимодействий и повышения точности температурного режима при действии возмущений ими вызванных.

В результате сформированная структура нечеткого компенсатора включает 14 входных и 6 выходных параметров. Для описания каждой входной и выходной переменной использовалось по три лингвистических терма, что позволило обеспечить компромисс между гибкостью регулирования и сложностью системы. Для всех термов были выбраны S-образные функции принадлежности (сигмоидального типа), обеспечивающие плавные переходы между лингвистическими состояниями и устойчивую работу регулятора в широком диапазоне режимов.

Идентификация термов выполнялась с использованием традиционных лингвистических обозначений, часть параметров:

- Ошибка по температуре: Недогрев, Нет ошибки, Перегрев.
- Изменение уставки: Снизить, Не изменять, Повысить.
- Управляющее воздействие по подаче газа: Снизить, Не изменять, Увеличить.

Разработаны 288 правил работы нечеткого компенсатора, часть из которых представлена ниже в таблице 1.

Таблица 1 – Часть базы правил нечеткого компенсатора на примере зоны 4

Параметр	**Правила**				
	1	**2**	**3**	**…**	**288**
Входные параметры					
Дельта уставки зона 4 -15	+	+	+	…	
Дельта уставки зона 4 0				…	
Дельта уставки зона 4 +15				…	+
Счетчик времени зона 4 0	+			…	+
Счетчик времени зона 4 30		+		…	
Счетчик времени зона 4 60			+	…	
Ошибка по температуре зона 3 -20				…	
Ошибка по температуре зона 3 0				…	+

Ошибка по температуре зона 3 +20	+	+	+	…	
Давление в печи -7	+	+	+	…	
Давление в печи 0				…	
Давление в печи +7				…	+
Счетчик времени по изменению давления 0	+	+	+	…	+
Счетчик времени по изменению давления 30					
Счетчик времени по изменению давления 60					
Выходные параметры					
Расход газа зона 3 -7%				…	+
Расход газа зона 3 0%				…	
Расход газа зона 3 +7%	+	+	+	…	

Проводились модельные эксперименты, полученные данные температур, в момент межзонного влияния, и компенсации их нечетким компенсатором, представлены в графическом виде (рис. 2). Из представленного графика следует, что нечеткий компенсатор обеспечивает компенсацию возмущающих воздействий в зоне 3, возникающих при изменении заданий уставки.

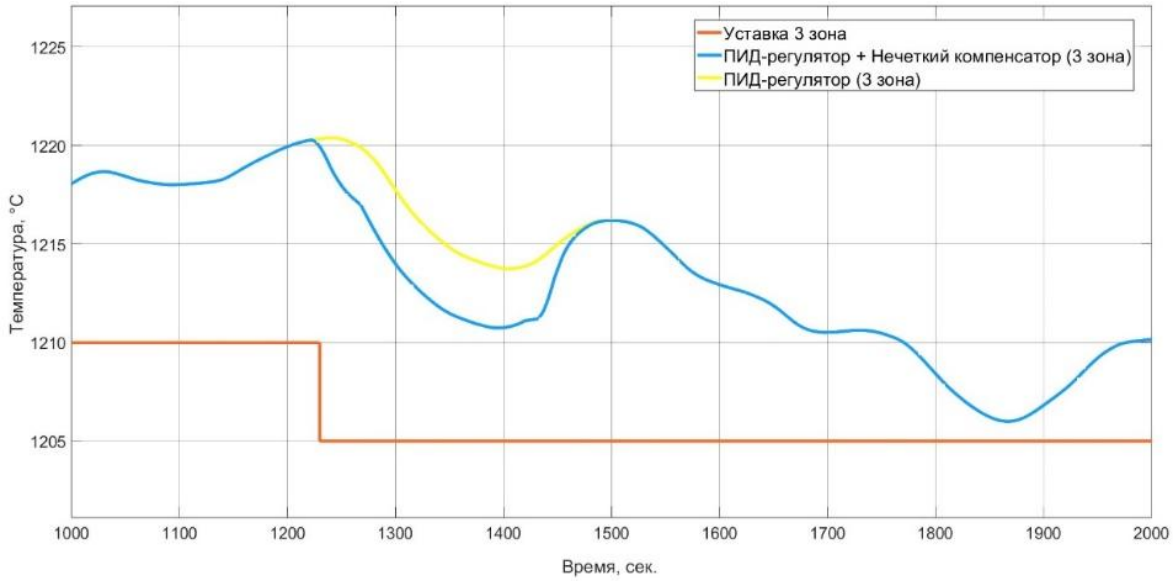


Рис. 2 – Температура зона 3

Приведённый пример демонстрирует работу нечеткого компенсатора для одной частной ситуации межзонного взаимодействия. В нечетком компенсаторе база правил включает большее количество входных параметров и их комбинаций, что позволяет более точно учитывать текущее состояние зон печи и характер возмущающих воздействий. Такой подход обеспечивает требуемую точность формирования компенсирующих управляющих воздействий во время межзонных влияний печи.

В рамках исследования был выполнен ряд дополнительных экспериментальных испытаний. Проводится сравнение работы ПИД-регулятора и ПИД-регулятора с нечетким компенсатором.

Одним экспериментальным испытанием считается ситуация, когда в наблюдаемой зоне меняется уставка и как результат, появляются межзонные взаимодействия. Длительность эксперимента составляет порядка 2-х - 3-х минут.

Сравнение результатов дополнительных экспериментов, проведённых на различных временных интервалах работы печи продолжительностью 200 секунд, выполнялось с использованием метрики MAE (табл. 2).

- Эксперимент №1 изменение по уставке в зоне №6 на +5 градусов.
- Эксперимент №2 изменение по уставке в зоне №4 на +5 градусов.

Таблица 2 – Сравнение результатов экспериментов

№ Эксперимента	Метрика MAE								
		Зона	Температура в градусах	Зона	Температура в градусах	Зона	Температура в градусах	Средняя температура по печи в градусах	Разница
1	Обычный режим	1	6,40	3	6,38	5	10,17	7,65	1,42
	С нечетким компенсатором		5,07		4,85		8,76	6,23	
	Обычный режим	2	8,61	4	8,57	6	10,93	9,37	1,52
	С нечетким компенсатором		7,18		7,50		8,87	7,85	
№ Эксперимента	Метрика MAE								
		Зона	Температура в градусах	Зона	Температура в градусах	Зона	Температура в градусах	Средняя температура по печи в градусах	Разница
2	Обычный режим	1	6,34	3	6,69	5	9,87	7,63	1,19
	С нечетким компенсатором		5,16		5,78		8,39	6,44	
	Обычный режим	2	7,87	4	8,91	6	9,26	8,68	1,13
	С нечетким компенсатором		6,54		7,77		8,34	7,55	

Реализован нечеткий компенсатор, обеспечивающий предиктивную реакцию на межконтурные взаимодействия. Результаты сравнительного анализа, представленные в табличной форме, наглядно подтверждают работоспособность предложенного решения. Применение данного регулятора позволило сократить температурные отклонения, возникающие при взаимодействии соседних контуров регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогнозная математическая модель процесса нагрева металла в печах с шагающими балками / С. И. Гинкул, А. Б. Бирюков, А. А. Иванова, П. А. Гнитиев // Металлург. – 2018. – № 1. – С. 24-28. – EDN YNJFQM.
2. Расчетные исследования тепловой работы и совершенствование конструкции кольцевой печи ПАО "Челябинский трубопрокатный завод" для улучшения теплотехнических показателей ее работы / Н. В. Щукина, Н. А. Черемискина, Н. Б. Лошкарев, В. В. Лавров // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2019. – Т. 62, № 6. – С. 431-437. – DOI 10.17073/0368-0797-2019-6-431-437. – EDN IPIVDP.
3. Glushchenko, A. I. On development of module for neural tuner to adjust D-part of PID-controller online / A. I. Glushchenko // Procedia Computer Science : Proceedings of the 13th International Symposium "Intelligent Systems", INTELS 2018, St. Petersburg, 22–24 октября 2018 года. Vol. 150. – St. Petersburg: Elsevier B.V., 2019. – P. 208-215. – DOI 10.1016/j.procs.2019.02.042. – EDN ZSKKOJ.
4. Muravyova, E. A. Development of a Neural Network for a Boiler Unit Generating Water Vapour Control / E. A. Muravyova, N. N. Uspenskaya // Optical Memory and Neural Networks. – 2018. – Vol. 27, No. 4. – P. 297-307. – DOI 10.3103/S1060992X18040070. – EDN RVCSIQ..
5. Бирюков, А. Б. Управление процессом тепловой обработки металла в печи с помощью системы диагностики теплосодержания садки / А. Б. Бирюков, А. А. Иванова // Металлург. – 2019. – № 8. – С. 54-58. – EDN DLKLBK.
6. Прогнозная математическая модель процесса нагрева металла в печах с шагающими балками / С. И. Гинкул, А. Б. Бирюков, А. А. Иванова, П. А. Гнитиев // Металлург. – 2018. – № 1. – С. 24-28. – EDN YNJFQM.
7. Бирюков, А. Б. Управление процессом тепловой обработки металла в печи с помощью системы диагностики теплосодержания садки / А. Б. Бирюков, А. А. Иванова // Металлург. – 2019. – № 8. – С. 54-58. – EDN DLKLBK.
8. Бирюков, А. Б. Методика анализа и управления уровнем энергоэффективности печи / А. Б. Бирюков // Сталь. – 2023. – № 4. – С. 53-56. – EDN WPRWIX.
9. Denisov, M. A. Selection of the best metal-heating conditions / M. A. Denisov, K. G. Solov'ev // Steel in Translation. – 2010. – Vol. 40, No. 2. – P. 195-200. – DOI 10.3103/S0967091210020233. – EDN MXPTBT.
10. Yu-geng, C. H. A. I., et al. "Design and Development Trend of Future-Oriented Metallurgical Machinery Automation Production Line." Mechanical Research & Application 38.1 (2025): 160-162.
11. Niu, Xiaojing, Meili Wang, and Shengfeng Qin. "Product design lifecycle information model (PDLIM)." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 118.7 (2022): 2311-2337.
12. Zhang K. et al. Advancements in industrial cyber-physical systems: An overview and perspectives //IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2022. – Т. 19. – №. 1. – С. 716-729.
13. Chen K. et al. Digital twins model and its updating method for heating, ventilation and air conditioning system using broad learning system algorithm //Energy. – 2022. – Т. 251. – С. 124040.
14. Демидович, В. Б. Разработка систем индукционного нагрева в металлургической промышленности с использованием технологии digital twin / В. Б. Демидович // Металлург. – 2023. – № 12. – С. 120-125. – DOI 10.52351/00260827_2023_12_120. – EDN RILVGG.
15. Фомин, А. В. Математическая модель зависимости расхода газа в зонах печи от производительности прокатного стана / А. В. Фомин // Металлург. – 2023. – № 2. – С. 111-116. – DOI 10.52351/00260827_2023_02_111. – EDN VWRXSZ.
16. Фомин, А. В. Разработка метода непрерывно-дискретного инверсного управления контуром регулирования давления в пространстве нагревательной печи / А. В.

Фомин // Металлург. – 2023. – № 11. – С. 118-123. – DOI 10.52351/00260827_2023_11_118. – EDN EFXYQM.

17. Фомин, А. В. Разработка функциональной схемы межконтурных взаимодействий в нагревательных печах на примере печей нагрева металла АО «ОЭМК им. А.А. Угарова» / А. В. Фомин // Автоматизация в промышленности. – 2024. – № 7. – С. 46-49. – DOI 10.25728/avtprom.2024.07.08. – EDN QTQENZ.

18. Fomin, A. V. Using neural networks to account for cross-zone interactions in metal reheating furnaces / A. V. Fomin, N. V. Savostin // Metallurgist. – 2025. – Vol. 69, No. 2. – P. 314-321. – DOI 10.1007/s11015-025-01945-0. – EDN UXEYSE.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП ПЕЧИ НАГРЕВА АО «ТХМ-ПРОМПЕЧЬ»

Савченко С.В., студент 4 курса
Научный руководитель – ст. преподаватель, **Уварова Л.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Описание предприятия

Инжиниринговое машиностроительное предприятие АО Машиностроительная компания "ТЕПЛОХИММОНТАЖ-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПЕЧИ" было основано в 2014 году, основным видом деятельности является производство печей, термокамер и печных горелок. Занимается проектированием, изготовлением и поставкой под ключ нового термического оборудования, модернизацией устаревшего действующего оборудования для термической, химико-термической обработки и нагрева металлов, сплавов и деталей машин металлургических и машиностроительных заводов и предприятий на территории РФ.

Также предприятие производит модернизацию и перевод на автоматическое управление различных нагревательных объектов, при этом выполняется проектирование под ключ с учетом индивидуальных особенностей объекта и специфики его работы, а также расположения объекта. После модернизации или иных работ, предприятие АО «ТХМ-ПромПечь**»,** выполняет постановку на гарантию, и в последующем гарантийное обслуживание и наладку механизмов, в которую входит диагностика дефектов, анализ некорректной работы объекта, замена вышедших из строя электронных компонентов и программно-логических контроллеров, вывод на корректную работу объекта и наладку до необходимого состояния [2].

Описание объекта

Промышленные печи предназначены для термической обработки различных материалов. Оборудование для тепловой обработки материалов или изделий востребовано практически во всех промышленных отраслях, однако, главным образом применяется в металлургии и машиностроении в силу использования в них в качестве основных материалов твердых металлов и сплавов.

Промышленная печь представляет собой агрегат для нагрева или плавления материалов, где в качестве источника получения теплоты используется горение топлива, электроэнергия либо теплота экзотермической реакции [3].

Процесс управления осуществляется оператором и рабочими. Сначала необходимо проверить оборудование, исправить неполадки, если они присутствуют, затем с помощью датчиков проверяют давление в системе, после чего происходит продувка системы и снова проверка датчиками. Если в система соответствует нормам, идет подача природного газа.

Тепло вырабатывается в промышленной печи путем смешивания газа с воздухом. Остаточное тепло выводится из печи в виде газообразных продуктов горения (дымового топочного газа).

К печи на подвесной платформе приезжают заготовки из низко углеродистой стали. Заготовки бывают двух типов:

1. Сталь 20 ГОСТ 1050 2013 г. - качественная углеродистая конструкционная сталь, отличающаяся хорошей свариваемостью, обрабатываемостью, умеренной прочностью и пластичностью, а также низкой стоимостью. Содержит 0,17–0,24% углерода, 0,35–0,65% марганца, 0,17–0,37% кремния, а также серу и фосфор (до 0,035%).
2. Сталь 12Х 18Н10Т ГОСТ 5632-2014 - коррозионностойкая, жаростойкая и жаропрочная аустенитная сталь Содержание углерода не более 0,12%, хрома около 18%, никеля около 10%, титан меньше 0,8%

Так же заготовки — это круглый прокат от 40мм до 250 мм

В печь они загружаются вручную с помощью щипцов, кладутся хаотично. Печь начинает нагреваться до 1200 ˚С (300 ˚С в час). После нагрева заготовки идут под наковальню, где и получаются зубчатое колеса со ступицей.

Описание существующего уровня автоматизации

Уровень автоматизации системы управления печью является высоким и соответствует современным стандартам промышленной автоматизации. Реализована двухуровневая архитектура, обеспечивающая полный автоматический контроль технологического процесса, комплексные блокировки безопасности, архивирование данных и ручное вмешательство оператора.

1. Архитектура системы (Уровни автоматизации)

Система построена по классической двухуровневой схеме:

Первый уровень (нижний, полевой): Автономная система управления.

Непосредственное управление исполнительными механизмами, сбор данных с датчиков и выполнение алгоритмов управления и, что критически важно, обеспечение безопасности (блокировки).

На базе программируемых логических контроллеров (ПЛК) производителя Siemens. В шкафу управления размещены ПЛК, преобразователи сигналов, приборы контроля, пускозащитная аппаратура.

Второй уровень (верхний, операторский): Автоматизированное рабочее место оператора.

Визуализация процесса (мнемосхемы, графики трендов), оперативная корректировка уставок и программ термообработки, технологический учет и архивирование всех данных процесса в электронном виде.

Персональный компьютер со специализированным ПО SCADA/HMI. Является основным интерфейсом для оператора.

Дополнительный интерфейс: Панель оператора, подключенная к контроллеру. Дублирует основные функции управления и визуализации с АРМ, обеспечивая основной и резервный пульт управления.

2. Перечень автоматизированных функций

Автоматическое регулирование температуры: Преобразователи температуры передают данные в контроллер, который по ПИД-закону управляет мощностью горелок.

Автоматический контроль и управление давлением:

Давление в печи регулируется приводом заслонки дымоудаления.

Давление газа и воздуха контролируется датчиками, при отклонениях срабатывают аварийные блокировки.

Автоматический контроль пламени: Каждая горелка оборудована автоматом контроля пламени, который отключает подачу газа на свою горелку при погасании.

Автоматический розжиг горелок: Реализован полноценный алгоритм автоматического розжига с подачей искры, контролем наличия пламени и выходом на рабочую мощность.

Автоматическая проверка герметичности газовой линии: перед каждым пуском система проводит автономный тест на утечку газа с помощью главного и запасного клапанов. Выполняется после проверки герметичности для удаления возможной воздушно-газовой смеси.

Автоматическое ведение программы термообработки: Оператор выбирает программу (температурный график), система автоматически выполняет нагрев, выдержку и охлаждение по заданному алгоритму.

Автоматическое аварийное отключение (Аварийный стоп): при нажатии

Постановка задачи

1. **Технологическая зависимость (Импортозамещение):** В связи с изменением геополитической ситуации существует риск перебоев в поставках запасных частей (датчиков давления Siemens), увеличения стоимости обслуживания и отсутствия технической поддержки.

2. **Экономическая неэффективность (Расход топлива):** Эксплуатация текущих датчиков давления в течение длительного периода привела к их дрейфу характеристик. Неточность измерения давления газа и воздуха в смесительной камере приводит к нарушению пропорций смеси, неполному сгоранию топлива и перерасходу энергоресурсов.

- До замены: потребление природного газа составляло **40 м³/час.**
- После замены: после замены потребление природного газа составит **30 м³/час**.

Разработка математического обеспечения

Математическое моделирование — это метод научного изучения, основанный на познании исследуемых процессов посредством математической модели. Этот метод основан на математическом подобии. Для математически идентичных объектов процессы имеют различную физическую суть, но представляются подобными уравнениями.

Разрабатываемая математическая модель для системы автоматического регулирования (САР) имеет в себе три контура регулирования:

1. Контур регулирования по температуре.
2. Контур регулирования по расходу газа.
3. Контур регулирования по расходу воздуха.

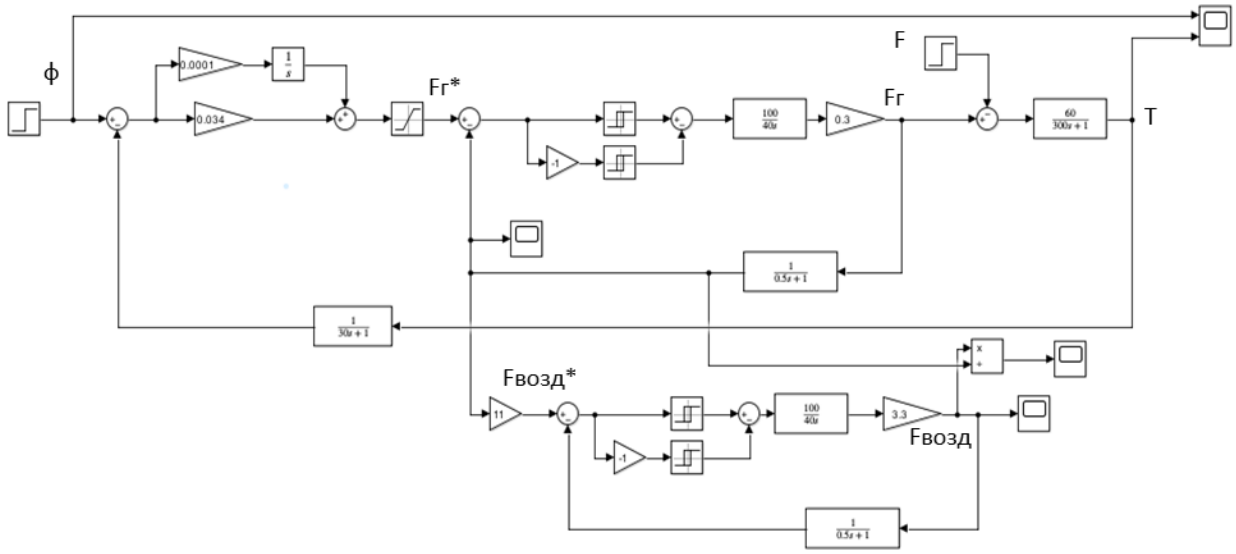


Рис. 17 – Математическая модель системы

- ϕ - уставка по температуре;
- Fг* - задание по расходу природного газа;
- Fг – текущий расход природного газа;
- F - возмущение
- T – текущая температура;
- Fвозд* - задание по расходу воздуха;
- Fвозд – текущий расход воздуха;

В контуре регулирования температуры объектом управления выступает зона печи. Данный объект описывается апериодическим звеном первого порядка.

Передаточная функция имеет следующий вид (1):

$$W_{\text{оу}}(s) = \frac{K}{T \cdot s + 1}; \quad (1)$$

Коэффициент усиления объекта управления по температуре определим по формуле (2):

$$\text{К}_{\text{Оу}} = \frac{T_{max}}{F_{max}}, \frac{°\text{C}}{\frac{\text{м}^3}{\text{мин}}}; \quad (2)$$

Постоянную времени объекта управления оценим исходя из технологического режима по формуле (3):

$$\mathrm{T}_{\text{ОУ}} = \frac{1}{3} t_{\text{п.п.}}, \text{мин}; \tag{3}$$

Приведем передаточную функцию объекта управления по температуре в виде (1):

$$W_{\text{ОУ}}(s) = \frac{60}{300s + 1};$$

Для моделирования исполнительного механизма потребуется, сначала привести математическую модель МЭО механизма, который может быть описан интегральным звеном следующего вида:

$$W(s) = \frac{X_{max}}{t_{max}} \cdot \frac{1}{s}; \tag{4}$$

В данном случае предполагаем, что клапан, используемая в данный момент в магистрали газа будет открываться на 100 процентов за 40 секунд:

$$W_{\text{МЭО-Г}}(s) = \frac{100}{40s};$$

Далее потребуется связать процент открытия заслонки с объемным расходом. Рассчитаем коэффициент преобразования, используя процент открытия заслонки и объемный расход природного газа:

$$\mathrm{K}_{\text{ГР}} = \frac{F_{max}}{X_{max}}, \frac{\frac{\text{м}^3}{\text{мин}}}{\%}; \tag{5}$$

Таким образом представим передаточную функция исполнительного механизма в виде (4):

$$W_{\text{ИМ}}(s) = \frac{100}{40s} * 0.3;$$

МЭО управляется трехпозиционным релейным регулятором.

Расход воздуха должен быть в 11 раз больше текущего расхода газа.

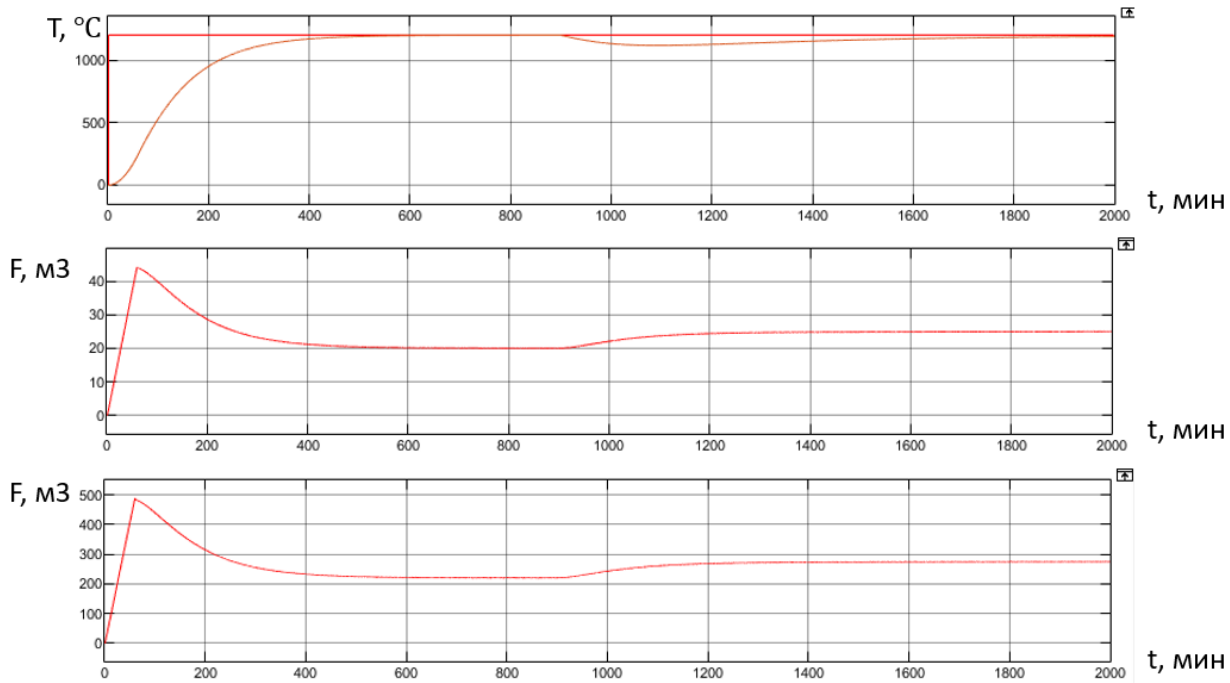


Рис. 18 - Графики переходных процессов

1. Здание и выход ОУ.
2. Изменение расхода газа.

3. Изменение расхода воздуха.

Моделирование проводилось для типового режима работы печи 1200 °С, а также отработка возмущения в виде изменения температуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила оформления научной публикации. URL: https://psv4.userapi.com/s/v1/d2/hSAw1yR7tTTXnKzaWHkdeoVfa29WdQ-YIuBpuny0bYvaXF7Mc9bwwPL7oiLQA3izqNvEujrjOokY2B1WLXsam0KptADOdaMeMENFFpXxgJdyil7beoXXcc6dKd5wOfDIr8iiqWPssj75/Buklet_XXIII_Konferentsii_studentov_i_aspirantov.pdf?dl=1

2. Описание предприятия АО «ТХМ-ПромПечь» URL: http://thm-holding.ru/about-us/prompech/

3. Описание работы печей АО «ТХМ-ПромПечь» URL: http://thm-holding.ru/

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУТП ПЕЧИ ОТЖИГА МЕТАЛЛА №2 СПЦ-1 АО «ОЭМК ИМ А.А. УГАРОВА»

Самойлов С.И., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н, доцент **Фомин А.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ МИСИС)

Современное металлургическое производство невозможно представить без высокого уровня автоматизации технологических процессов. В условиях постоянного ужесточения требований к качеству готовой продукции, энергоэффективности и промышленной безопасности ключевым направлением развития становится цифровая трансформация систем управления [1]. Особое внимание уделяется термическим печам – сложным теплотехническим агрегатам, от стабильности работы которых напрямую зависят механические свойства металла и производительность прокатного стана. Печи отжига работают в садочном и проходном режимах, при этом допускаемое отклонение по температурам выдержки и охлаждения составляет всего ±10 °C, что предъявляет высокие требования к точности регулирования.

На АО «ОЭМК» в сортопрокатном цехе эксплуатируется печь отжига №1. Существующая система автоматизации, построенная на базе устаревшей системы Bailey Controls, включающей контроллеры micro-Z морально и физически устарела. За 32 года эксплуатации оборудование выработало ресурс: частота отказов электронных модулей micro-Z достигает 3–4 раз в месяц, поставка запасных частей прекращена, а тепловая модель не полностью учитывает параметры отжига. В связи с этим модернизация АСУ ТП печи отжига является актуальной и экономически обоснованной задачей.

Печь предназначена для термообработки стального проката после его обработки давлением. Нагрев осуществляется за счёт сжигания смеси природного газа и воздуха в горелках. Технологический процесс ведётся при коэффициенте избытка воздуха от 1,01 до 1,3 и избыточном давлении в печи не менее 10 Па (кратковременные снижения до 5 Па допускаются). Рабочее пространство печи ограничено подом, боковыми стенками и сводом. Загрузка проката возможна как с холодного посада (температура печи при этом составляет 300–600 °C), так и с горячего — непосредственно после прокатного нагрева.

Контроль температуры осуществляется с помощью 21 термопар: по три на каждую зону. Термопары делятся на два типа - аварийные (их показания выводятся на дисплей оператору) и регулирующие (их сигналы используются в контурах автоматического регулирования). При отказе одной из двух регулирующих термопар происходит автоматическое переключение на резервную; при отказе аварийной термопары зона закрывается.

Несмотря на наличие средств автоматизации, существующая система управления печью отжига имеет серьёзные недостатки, выявленные в ходе анализа её архитектуры и многолетней эксплуатации. На данный момент управление построено по децентрализованному принципу: все контуры регулирования температуры, расхода газа и воздуха реализованы на множестве автономных перепрограммируемых плат.

Кроме того, критически важную функцию противоаварийной защиты (контроль пламени, давления газа и воздуха, аварийное отключение печи) выполняют те же устаревшие модули, дополненные аппаратными релейными схемами. Данная платформа не обеспечивает требуемого уровня диагностики: при сбое невозможно оперативно определить причину отказа, а любое изменение алгоритмов ПАЗ требует отключения печи, специальных знаний и сопряжено с высокими рисками из-за отсутствия документированной логики работы. Всё это приводит к частым переходам на ручное управление и увеличивает вероятность аварийных ситуаций.

Таким образом, можно выделить следующие основные недостатки существующей АСУ ТП:

– Физический износ – отказы модулей micro - Z происходят 3–4 раза в месяц, замена невозможна.

– Устаревшая аппаратная база – платы автоматического регулирования, сервоприводы, термопары, пирометры не соответствуют современным требованиям.

– Неполнота тепловой модели – снижается эффективность работы в автоматическом режиме, часты переходы на ручное управление.

– Рост аварийности и простоев – с каждым годом эксплуатации количество отказов оборудования увеличивается.

Ключевая задача модернизации АСУ ТП — построение единой централизованной и масштабируемой системы управления. Это позволит повысить точность поддержания температуры, уменьшить количество аварийных ситуаций, облегчить техническое обслуживание и обеспечить соблюдение актуальных норм промышленной безопасности. Экономический эффект от модернизации планируется получить за счёт уменьшения потребления газа и снижения простоев, вызванных выходом из строя устаревшего оборудования.

Для обоснования проектных решений и настройки алгоритмов регулирования была разработана математическая модель системы управления температурой печи в среде MATLAB Simulink (рисунок 2). Модель включает три взаимосвязанных контура [2]. Контур температуры в зоне печи - формирующий задание на расход газа, далее управляющие воздействия поступают в главный алгоритм управления, который выбирает зоны для включения.

Алгоритм управления работает по следующему принципу и представлен на рисунке 1.

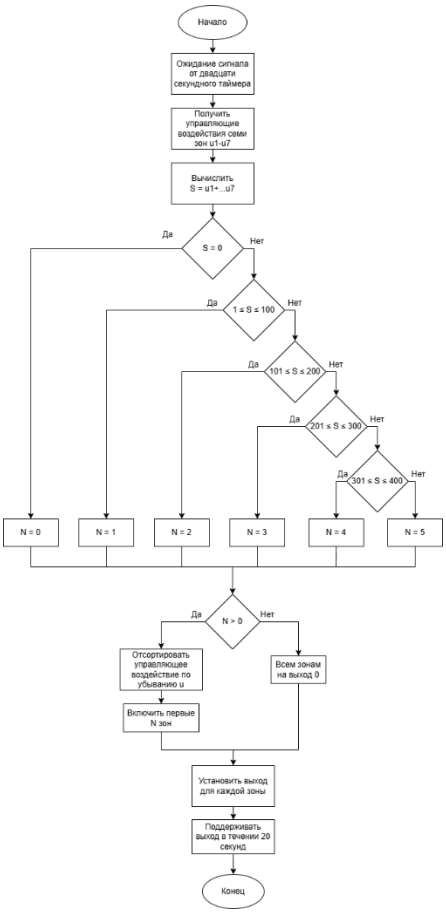


Рис. 1 – Главный алгоритм управления

Алгоритм отжига ожидает сигнала от двадцатисекундного таймера. После он получает на вход семь значений калорийности, которые соответствуют выходам температурных ПИ-регуляторов каждой из семи зон. На первом этапе вычисляется сумма S всех управляющих сигналов u_i, если S равна 0, то на все зоны подаётся 0, если S равна от 1 до 100, то включится самая калорийная зона (самое большое управляющее воздействие), если S от 101 до 200, то включатся 2 самые калорийные зоны, если S от 201 до 300, то включатся 3 самые калорийные зоны, если S от 301 до 400, то включатся 4 самые калорийные зоны, если S больше 401, то включатся 5 самых калорийных зон, так как существует ограничение на одновременное включение только 5 зон. Выход на каждой зоне будет поддерживаться в течение 20 секунд, после будет новый цикл алгоритма и выбор новых зон на включение независимо от предыдущих циклов.

Объект управления по температуре описан апериодическим звеном первого порядка. Передаточная функция объекта имеет вид:

$$W_{oy}(s) = \frac{K}{T_s+1} \quad (1)$$

Коэффициент *K* определяется по формуле:

$$K = \frac{T_{max}}{F_{max}}; \quad (2)$$

где T_{max} = 800 ºС – максимальная температура в зоне печи,

F_{max} = 290 м^3/ч – расход газа, необходимый для достижения максимальной температуры.

$$K = \frac{800}{290} = 2{,}76$$

Постоянная времени *T* определяется по формуле:

$$T = \frac{t_{пп}}{3 \div 5}; \quad (3)$$

где $t_{пп}$ - время переходного процесса.

$$T = \frac{1200}{3} = 400$$

$$T = 400, \text{с}$$

Таким образом, передаточная функция объекта управления будет выглядеть:

$$W_{oy}(s) = \frac{2{,}76}{400s+1}$$

В качестве регулятора температуры в системе используется ПИ-регулятор, реализуемый программно в контроллере.

После получения сигнала от главного алгоритма открывается заслонка основного воздуха с механизмом МЭО, модель может быть представлена следующей передаточной функцией:

$$W_{ИМ}(s) = \frac{1}{t_{max}s}, \quad (4)$$

где t_{max}= 5 сек - постоянная времени исполнительного механизма.

$$W_{ИМ}(s) = \frac{100}{5s}.$$

Коэффициент пересчета степени открытия задвижки в расход газа:

$$K_{гр} = \frac{F_{max}}{100} \quad (5)$$

$$K_{г} = \frac{2900}{100} = 29$$

Контур расхода газа - подчинённый контур, управляющий положением газовой заслонки с механизмом МЭО после того, как в зону будет закачено 800 м^3/ч, подаётся сигнал на открытие заслонки, модель может быть представлена следующей передаточной функцией:

$$W_{ИМ}(s) = \frac{1}{t_{max}s}, \quad (4)$$

где t_{max}= 5 сек - постоянная времени исполнительного механизма.

$$W_{ИМ}(s) = \frac{100}{5s}.$$

Коэффициент пересчета степени открытия задвижки в расход газа:

$$K_{\text{гр}} = \frac{F_{max}}{100} \quad (5)$$

$$K_{\text{г}} = \frac{290}{100} = 2{,}9$$

Модель датчика расхода газа принимается как звено с коэффициентом усиления, равным единице.

Контур расхода дополнительного воздуха (Байпас) - оснащён ПИ-регулятором, поддерживающим заданное стехиометрическое соотношение «газ/воздух». Исполнительный механизм имеет постоянную времени $T_{\text{ИМ}}$ = 5 с.

Максимальный расход воздуха для данной печи составляет 3190 м3/час, от основной импульсной задвижки имеется 2900 м3/час, поэтому коэффициент пересчета степени открытия задвижки в расход воздуха рассчитаем с учётом имеющегося воздуха по формуле:

$$K_{\text{В}} = \frac{F_{\text{в}max}}{100} \quad (5)$$

$$K_{\text{В}} = \frac{290}{100} = 2{,}9$$

Модель датчика расхода воздуха принимается как звено с коэффициентом усиления, равным единице.

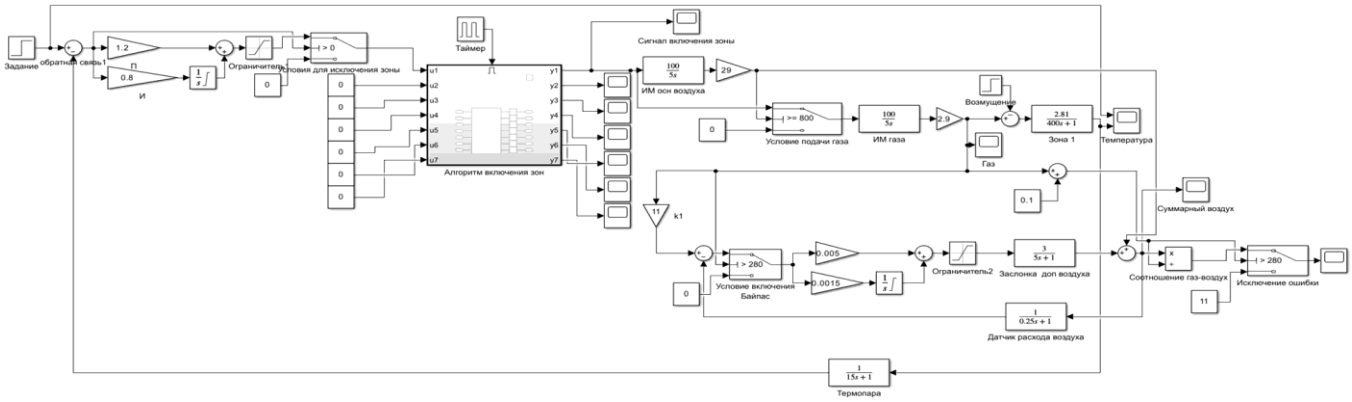


Рис. 2 – Математическая модель системы

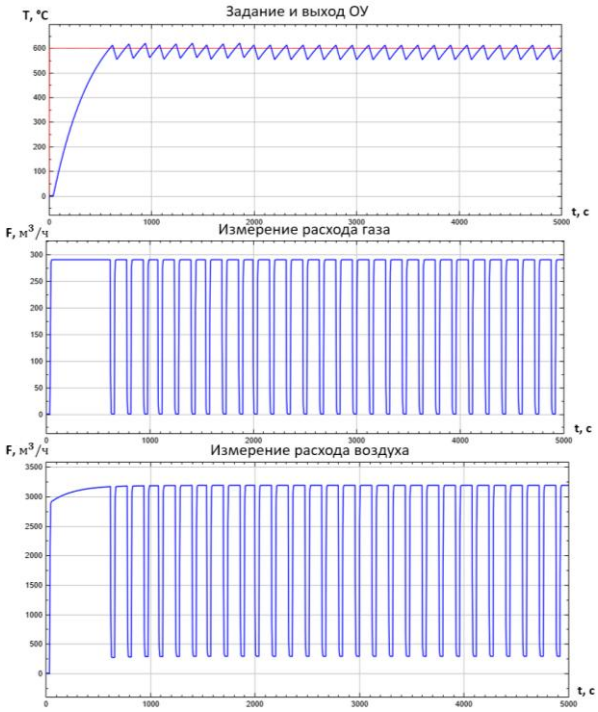


Рис. 3 – Графики переходных процессов

Моделирование проводилось для типового режима работы печи 600 °C, а также отработка возмущения в виде изменения температуры. Объект управления характеризуется

апериодическим звеном первого порядка. Подобранные параметры регуляторов позволяют системе успешно отрабатывать уставки и подавлять возмущения, что подтверждено вычислительными экспериментами.

Таким образом, математическая модель подтвердила принципиальную возможность централизованного регулирования с заменой распределённых процессоров micro - Z на единый контроллер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Средства автоматизации и управления: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Автоматизация технологических процессов и производств" / Кузнецов В.Н., Кривоносов В.А., Есилевский В.С./ - Старый Оскол: "ТНТ", 2017. – 356 с – Текст: непосредственный.

2. Фомин, А. В. Разработка функциональной схемы межконтурных взаимодействий в печах отжига на примере печей отжига металла АО «ОЭМК им. А.А. Угарова» / А. В. Фомин // Автоматизация в промышленности. – 2024. – № 7. – С. 46-49.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОГО НАВИГАТОРА «ВМЕСТЕ С МИСИС» НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Свириденко Т.С., студент 4 курса
Научный руководитель – старший преподаватель **Ковтун Н.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В условиях цифровой трансформации образования и растущей конкуренции на рынке труда профессиональное самоопределение школьников становится одной из ключевых задач. Профориентационные платформы, объединяющие школы, университеты, промышленные предприятия и наставников, позволяют автоматизировать процессы анкетирования, регистрации на мероприятия и анализа эффективности. Однако существующие решения зачастую разрознены и не обеспечивают персонализированный подход. Цель работы – построение полной модели информационной системы (ИС) профориентационного навигатора «Вместе с МИСИС».

Навигатор предназначен для автоматизации процессов регистрации, анкетирования, подбора мероприятий и сбора обратной связи. Основные пользователи – школьники 7–11 классов, представители школ, наставники (студенты и эксперты), сотрудники приемной комиссии СТИ НИТУ «МИСИС».

Контекстная диаграмма IDEF0 (рис. 1) представляет общую структуру проекта. Центральный блок А0 «Профориентация школьников в проекте «Вместе с МИСИС» объединяет все ключевые процессы: взаимодействие с образовательными учреждениями, организацию мероприятий, работу с предприятиями-партнёрами, сбор и анализ данных, продвижение проекта. Входными потоками являются запросы школ, данные о школьниках, ресурсы партнёров. Управляющие потоки – бюджет и календарный план. законодательство, Механизмы – команда проекта и партнёры. На выходе получаем мероприятия, отчеты, обратную связь и рекомендации по профориентации.

Рис. 1 – Контекстная диаграмма IDEF0 ИС

Декомпозиция контекстной диаграммы (рис. 2) детализирует основные бизнес-процессы проекта. Блок А1 «Взаимодействие с образовательными учреждениями» включает

организацию сотрудничества со школами, привлечение участников и информирование о проекте. Блок А2 «Организация профориентационных мероприятий» охватывает планирование и проведение тренингов, лекций, экскурсий, выбор спикеров и разработку учебных материалов. Блок А3 «Взаимодействие с промышленными предприятиями» обеспечивает создание партнёрств для организации экскурсий и привлечения экспертов. Блок А4 «Сбор и анализ данных» отвечает за проведение опросов и анкетирования, анализ эффективности мероприятий и подготовку рекомендаций по улучшению. Блок А5 «Продвижение проекта» включает информирование общественности, рекламные кампании и онлайн-трансляции.

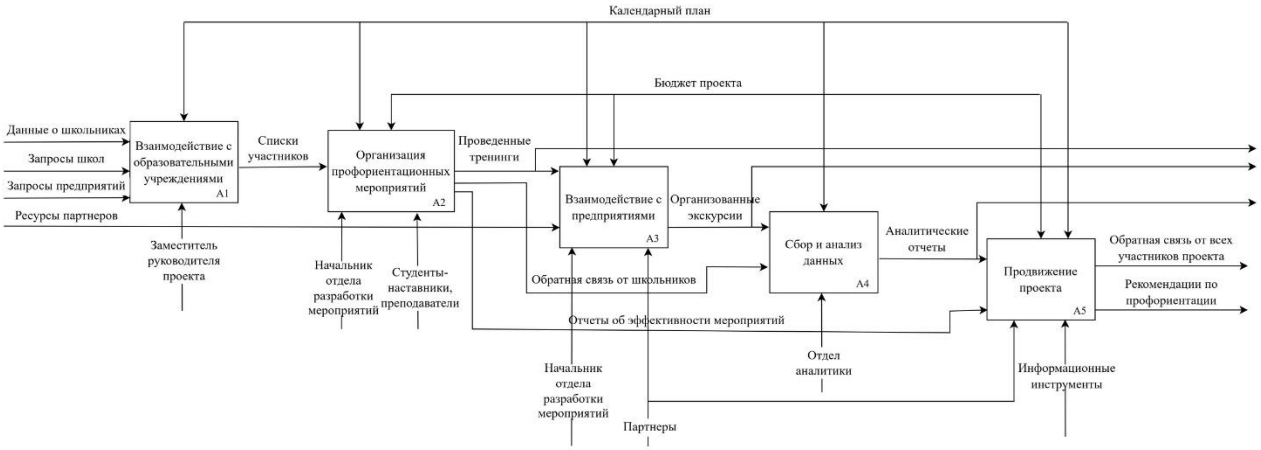


Рис. 2 – Диаграмма декомпозиции модели IDEF0

К недостаткам существующего уровня автоматизации можно отнести: разрозненное хранение данных (бумажные анкеты, электронные таблицы), высокую трудоёмкость ручных операций, отсутствие онлайн-регистрации на мероприятия, отсутствие персонализированных рекомендаций, слабую аналитику и обратная связь.

Для устранения недостатков предлагается разработать веб-платформу с клиент-серверной архитектурой (HTML5, CSS3, PHP7+, MySQL), объединяющую школьников, образовательные учреждения, наставников и промышленных партнёров в едином цифровом пространстве.

Основные функциональные требования включают управление пользователями и мероприятиями, онлайн-анкетирование, систему рекомендаций, аналитику, уведомления.

Диаграмма вариантов использования (рис. 3) описывает функциональность системы с точки зрения пользователей [1]. Основные прецеденты:

– для школьника – регистрация и авторизация, просмотр календаря мероприятий, прохождение онлайн-анкетирования, получение персонализированных рекомендаций, запись на мероприятие, оценка мероприятия, просмотр истории участия;

– для наставника – регистрация, просмотр календаря и профилей школьников;

– для представителя школы/родителя – регистрация, регистрация группы учеников, получение отчётов;

– для администратора (сотрудник приёмной комиссии) – управление пользователями и мероприятиями, просмотр аналитики, публикация новостей.

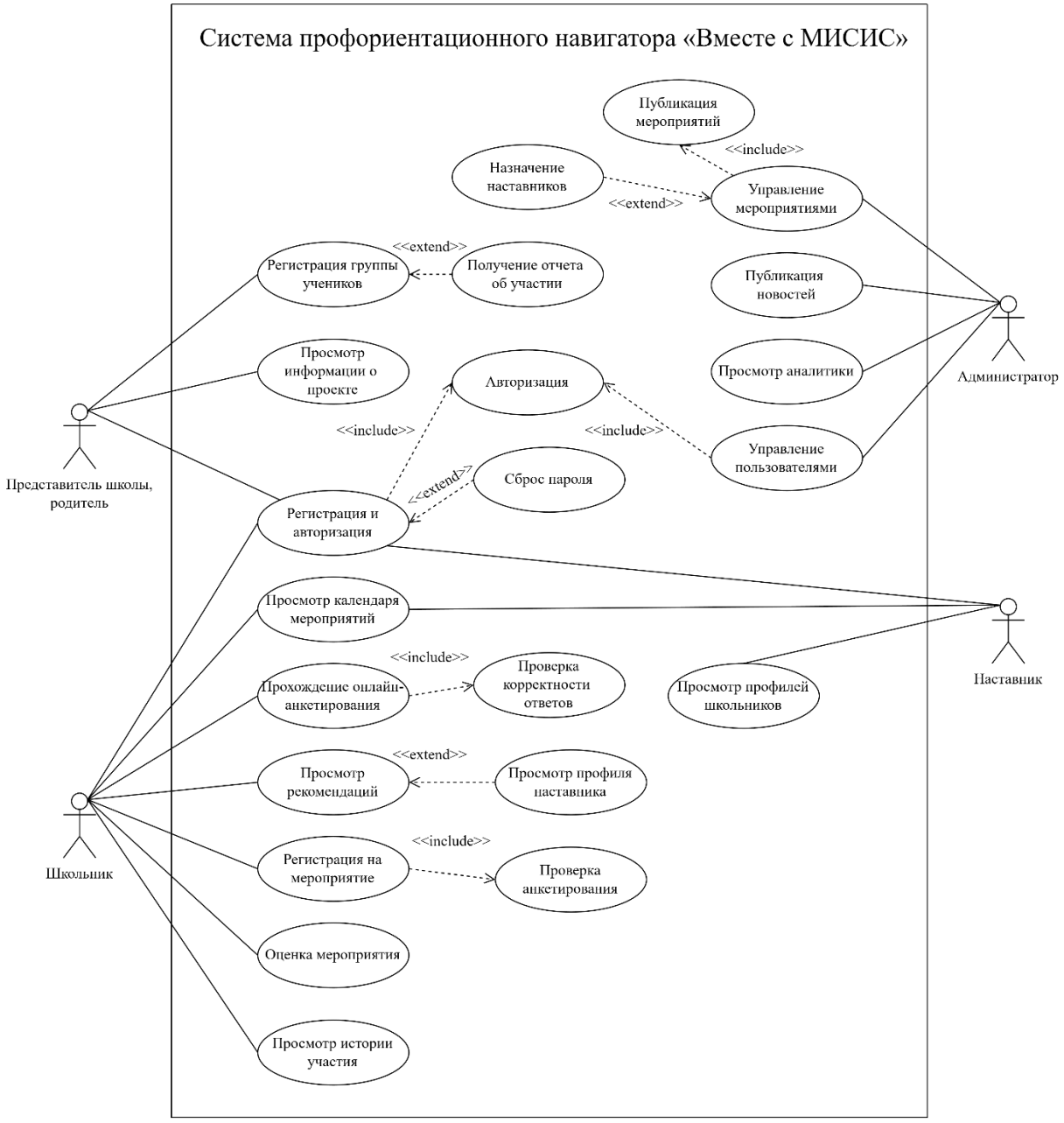


Рис. 3 – Диаграмма вариантов использования

Проект реализуется в течение 9 месяцев (сентябрь 2025 – июнь 2026) и включает этапы: инициация и предпроектное обследование, проектирование архитектуры и интерфейсов, разработка фронтенда и бэкенда, тестирование и отладка, подготовка к запуску. Диаграмма Ганта (рис. 4) демонстрирует длительность этапов и критический путь [2].

Общая продолжительность проектирования – 279 дней, дата окончания – 06.06.2026. Этап внедрения и промышленной эксплуатации системы начнётся после 08.06.2026, далее следует этап поддержки проекта в течение 5 лет.

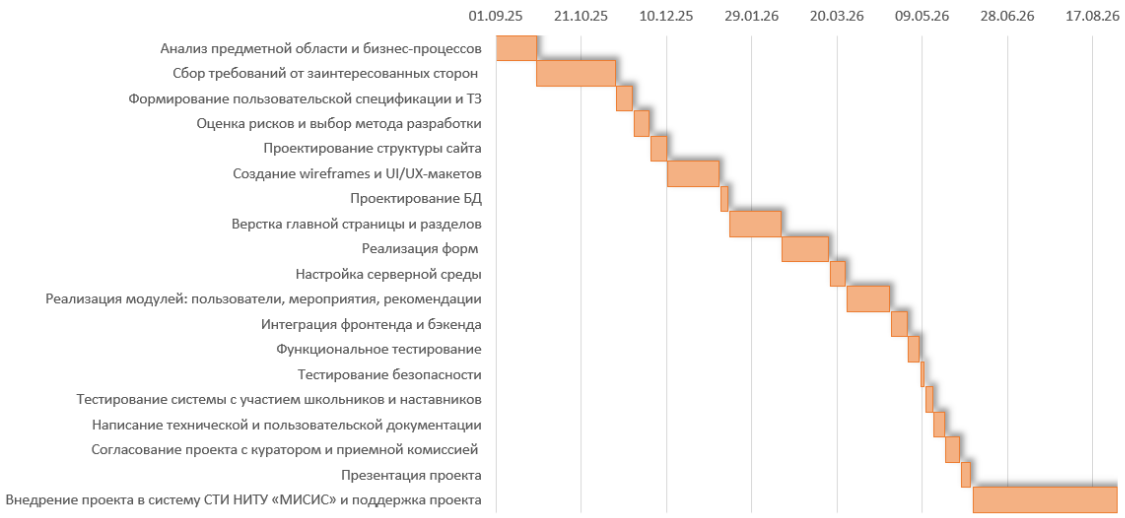


Рис. 4 – Диаграмма Ганта этапов проектирования

Таким образом, разрабатываемая система позволит обеспечить централизованное управление пользователями, мероприятиями и обратной связью, реализуя онлайн-анкетирование, персонализированные рекомендации, регистрацию на события и аналитику эффективности. Платформа автоматизирует ключевые бизнес-процессы профориентации от сбора предпочтений школьников до формирования отчётов для администраторов. Благодаря модульной структуре и открытым технологиям система легко масштабируется и может быть интегрирована с существующей ИТ-инфраструктурой СТИ НИТУ «МИСИС». Внедрение навигатора позволит повысить вовлечённость участников, снизить ручную нагрузку на сотрудников и повысить качество профориентационной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буч, Г. Язык UML. Руководство пользователя / Г. Буч, Д. Рамбо, И. Якобсон ; перевод с английского С. Н. Корниенко. – Москва : ДМК Пресс, 2021. – 494 с. – ISBN 978-5-97060-911-8. – Текст : непосредственный.

2. Зараменских, Е. П. Управление жизненным циклом информационных систем : учебник и практикум для вузов / Е. П. Зараменских. – 4-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2026. – 458 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-21900-5. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт : [сайт]. – URL: https://urait.ru/bcode/582402 (дата обращения: 05.04.2026).

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ДЕСКРИПТОРОВ ПОЗ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ УГРОЗ В СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Сиваш Г.М., студент 1 курса НИЯУ «МИФИ»,
Шевцов А.С., студент 1 курса МГТУ им. Н.Э. Баумана
Научный руководитель - **Ковтун М.В.**, студент 1 курса магистратуры
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, г. Москва

Системы распознавания применяются в области безопасности и видеонаблюдения для автоматического выявления подозрительных или опасных поз; в области здравоохранения и реабилитации для контроля выполнения упражнений при нарушениях опорно-двигательного аппарата; в области спортивной аналитики интерактивных приложений AR/VR для отслеживания жестов и управления интерфейсом. Практическая ценность таких систем возрастает, когда алгоритм способен работать в многообъектных сценах, в реальном времени, и при этом сохранять устойчивость к поворотам, перекрытиям и шумам данных.

Несмотря на значительный прогресс в области компьютерного зрения [1, 2], современные алгоритмы распознавания поз сталкиваются с типичными трудностями: окклюзии, нестабильность предсказаний keypoints, случайные скачки координат, потеря точности при значительном повороте тела и при плохих условиях съемки. Актуальной задачей является создание системы распознавания поз, способной работать в реальном времени, с несколькими людьми одновременно, при разных углах обзора и условиях съёмки, без обучения дополнительных классификаторов, основываясь только на геометрических свойствах скелета.

Разрабатываемая система построена на модульной архитектуре, позволяющей масштабировать её под различные сценарии анализа поведения (рисунок 1). Такой подход отделяет модель детекции от логики классификации поз, позволяет заменять модули (например, перейти с YOLO-Pose на MoveNet), упрощает интеграцию новых алгоритмов (например, лежачей позы или падения), делает систему интерпретируемой, поскольку каждая стадия понятна и независима.

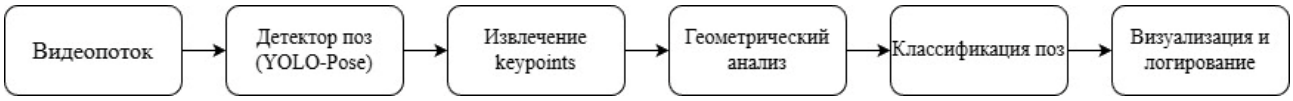
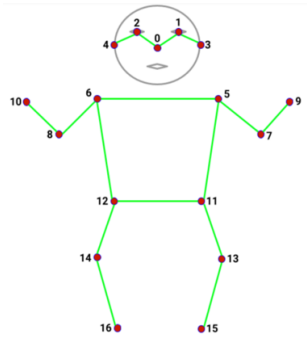


Рис. 1 – Базовый конвейер обработки данных

Основной контроллер отвечает за загрузку модели YOLO-Pose; чтение и обработку видеопотока; передачу найденных keypoints в специализированные классификаторы; отрисовку скелета, подсветку найденных поз; запись результата в новый файл.

Модули анализа поз включают функции определения приседания; определения поднятых рук; геометрическую утилиту вычисления углов, а также классификатор стойки стрелка, перспективное преобразование и объединение результатов нескольких критериев.

В качестве основы анализа используется стандарт COCO Keypoints, включающий 17 ключевых точек, расположенных на теле человека (рисунок 2).



0 – нос
1 – левый глаз
2 – правый глаз
3 – левое ухо
4 – правое ухо
5 – левое плечо
6 – правое плечо
7 – левый локоть
8 – правый локоть
9 – левое запястье
10 – правое запястье
11 – левое бедро
12 – правое бедро
13 – левое колено
14 – правое колено
15 – левая лодыжка
16 – правая лодыжка

Рис. 2 – Стандарт COCO Keypoints

При обработке кадра для каждого человека создаётся структура, которая полностью соответствует выводам YOLO-Pose и используется всеми классификаторами поз:

- points – массив формы (17, 2), содержащий координаты всех суставов;
- confs – массив длиной 17, содержащий уверенность распознавания каждой точки;
- bbox – прямоугольник, ограничивающий область, в которой обнаружен человек.

Пример данных:

```
bbox = [400.0, 150.0, 450.0, 350.0]  # [x1, y1, x2, y2]
points = [
  [415.2, 180.1],  # нос
  [405.3, 170.5],  # левый глаз
  [423.4, 171.2],  # правый глаз
  ...
]
confs = [0.92, 0.88, 0.90, ..., 0.87]
```

Полученные данные передаются в модули: анализ положения рук, определение приседа, классификация стойки стрелка, вычисление углов между точками.

Для удобства анализа и отладки система отображает 2D-скелет на каждом обработанном кадре. Каждая ключевая точка визуализируется в виде небольшого цветного круга, а суставы соединяются линиями согласно COCO-топологии. Визуализация помогает в отладке работы алгоритма и делает результат анализа понятным оператору.

Несмотря на высокую точность, YOLO-Pose, как и остальные 2D модели, обладает характерными ограничениями, описанными в начале статьи. Для устранения этих недостатков при разработке системы применялись пороги уверенности для суставов; временная фильтрация; комплексный анализ нескольких признаков позы.

Для анализа суставов используется вычисление угла между двумя отрезками, исходящими из одной точки. Такие углы позволяют определять степень сгибания рук и ног; характерные признаки приседания; степень выравнивания руки в стойке стрелка; ориентацию корпуса относительно камеры. Данный метод основан на анализе взаимного положения трёх точек, формирующих угол (1 – 3). Пусть заданы точки A, B, C, где B – вершина угла.

$$\overrightarrow{BA} = A - B \tag{1}$$

$$\overrightarrow{BC} = C - B \tag{2}$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{\overrightarrow{BA} * \overrightarrow{BC}}{|\overrightarrow{BA}| * |\overrightarrow{BC}|}\right) \tag{3}$$

Ограничение (4) используется для уменьшения ошибок округления при очень малых длинах векторов:

$$\cos(\theta) = clip(\cos(\theta), -1{,}1) \tag{4}$$

При съёмке сцены под углом или с высоты человеческие фигуры подвергаются перспективным искажениям: объекты ближе к камере выглядят больше; вертикальные линии

отклоняются; относительные расстояния между суставами искажаются. Это усложняет анализ поз, основанных на относительной высоте суставов, таких как определение положения «лёжа на спине», анализ глубины приседания и определения поз стоя/сидя/лёжа.

Для коррекции перспективы можно применять гомографию – преобразование, отображающее точки одного плана в другой (5), где $p = (x, y, 1)^T$ – точка изображения, p' – преобразованная точка, H – матрица гомографии размера 3×3.

$$p' \sim H\,p \tag{5}$$

Для поиска матрицы H можно использовать стандартный метод – решение системы линейных уравнений (например, методом наименьших квадратов через SVD- разложение).

Таким образом, сначала выбираются четыре опорные точки (например, углы пола), затем вычисляется матрица H и выполняется преобразование координат keypoints p'. После применения гомографии направления выравниваются, масштаб суставов корректируется, сравнение высот тела становится более надёжным.

Несмотря на то, что текущая версия системы не использует автоматическую калибровку сцены, архитектура проекта предусматривает возможность добавления модуля гомографии, включая модуль определения эталонных точек, вычисление матрицы H в реальном времени, корректировку всех keypoints перед анализом поз, что способно повысить надёжность алгоритмов, связанных с вертикальной ориентацией тела.

Ключевой задачей распознавания опасных поз является детекция стойки стрелка (Shooting Stance), которая описывается следующими признаками: ведущая рука согнута в локте; другая рука выпрямлена и стабилизирует оружие; корпус развёрнут боком к цели; ноги расставлены для обеспечения устойчивости; голова направлена вдоль линии прицеливания. Стойка имеет выраженные биомеханические признаки, которые можно формализовать в виде набора геометрических критериев (C1–C6), которые позволяют детектировать стойку стрелка даже при частично отсутствующих ключевых точках (табл. 1).

Таблица 1 – Геометрические критерии детектирования стойки стрелка

№	Описание	Условие
C1	Согнутая ведущая рука определяется по углу в локтевом суставе $\theta_{elbow} =< (shoulder, elbow, wrist)$	$60° \leq \theta_{elbow} \leq 120°$
C2	Вытянутая поддерживающая рука определяется по углу в плечевом суставе $\theta_{shoulder} =< (elbow, shoulder, hip)$	$60° \leq \theta_{shoulder} \leq 90°$
C3	Горизонтальность предплечья (проверяется вертикальный перепад между локтем и запястьем в нормированных координатах) $L_{forearm}$ – расстояние от локтя до запястья, Δy – вертикальный перепад	$\Delta y = \lvert y_{wrist} - y_{elbow} \rvert$ $\frac{\Delta y}{L_{forearm}} < 0{,}2$
C4	Устойчивость стойки нормализованная (ширина стойки и разница высот стоп) $L_{shoulder} = \lvert x_{shoulderL} - x_{shoulderR} \rvert$	$width_{norm} = \frac{\lvert x_{ankleL} - x_{ankleR} \rvert}{L_{shoulder}} > 0.7$ $height_{diff_{norm}} = \frac{\lvert y_{ankleL} - y_{ankleR} \rvert}{L_{shoulder}} < 0.1$
C5	Разворот корпуса для боковых стоек (угол между линиями плеч и бедер) $\varphi = \arccos\left(\frac{\overrightarrow{shoulders} * \overrightarrow{hips}}{\lvert\overrightarrow{shoulders}\rvert * \lvert\overrightarrow{hips}\rvert}\right)$	$\varphi > 20°$
C6	Направление головы и взгляда (вектор нос-запястье сравнивается с направлением нос-плечо $\alpha =< (wrist - nose, shoulder - nose)$	$\alpha < 45°$

Поскольку реальная стойка стрелка может варьироваться (разные углы сгибания, неполная видимость рук, индивидуальные особенности позирования), решение принимается по совокупности критериев. Итоговый бинарный классификатор определяется формулой 6 (поза стрелка считается распознанной, если выполнено не менее четырёх из шести критериев).

$$S = \begin{cases} 1, \sum_{i=1}^{6} C_i \geq 4 \\ 0, \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (6)$$

Этот подход обеспечивает устойчивость к шумам и искажениям keypoints, адаптацию к различиям в позах, независимость от одного конкретного признака, интерпретируемость результата. Даже если один из локтей плохо виден, но остальные признаки соответствуют стойке, классификатор сможет корректно определить позу.

Наличие ведущей руки является обязательным условием: даже если выполнено 4 или более критериев, но локтевой критерий не подтверждён, стойка не считается стрелковой. Ведущая рука определяется по углу в локте: если левая рука согнута в диапазоне 60–120°, стойка считается левосторонней; если правая рука согнута в том же диапазоне – правосторонней (7).

$$shooting.arm = \begin{cases} left, 60° \leq \theta_{elbow.L} \leq 120° \\ right, 60° \leq \theta_{elbow.R} \leq 120° \\ None, \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (7)$$

Для повышения надёжности детекции стойки стрелка используется временная фильтрация: для каждого человека формируется буфер длиной N кадров $B = \{S_{t-n+1}, \dots, S_t\}$, где $S_t \in \{0, 1\}$ – результат классификации на текущем кадре. Стойка считается подтверждённой, если поза обнаружена на большинстве кадров в окне (8). Это устраняет единичные ошибки и стабилизирует вывод.

$$score = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} S_i \geq 0.8 \quad (8)$$

Для расширенного анализа вводятся количественные метрики, позволяющие оценивать качество устойчивости и точность определения позы:

1. Коэффициент устойчивости K_{stab} учитывает ширину стойки, вертикальную симметрию стоп и относительное положение таза (width – расстояние между левой и правой лодыжкой, $height_{diff}$ – разница высот стоп, H_b – высота тела стрелка). Чем выше значение K_{stab}, тем более устойчива стойка (9).

$$K_{stab} = \frac{width}{H_b} * min(1, \frac{150}{height_{diff}}) \quad (9)$$

2. Метрика выравнивания руки A_{align} оценивает горизонтальность предплечья, определяющую качество линии прицеливания где y_w – координата запястья, y_e– координата локтя, y_s – координата плеча. Значения, близкие к 1, отражают стабильное и ровное положение руки и высокое качество прицеливания (10).

$$A_{align} = 1 - \frac{|y_w - y_e|}{max(|y_w - y_s|, 1)} \quad (10)$$

3. Метрика симметрии корпуса анализирует симметрию линии плеч, бёдер и распределение веса – вертикальной проекции центра масс.

Совокупность этих метрик позволяет более глубоко анализировать позу стрелка и отличать устойчивую стойку от неустойчивой при применении алгоритма.

При детекции приседания (Squat) с инвариантностью к повороту классические подходы анализа по Y-координатам определяют присед по снижению координат таза или головы по оси Y. Этот метод ненадёжен, так как при поворотах человека высота суставов искажается, наклон камеры создаёт ложное «снижение» высоты, рост людей различен, камеры могут находиться на разных уровнях, следовательно, необходим метод, не зависящий от абсолютных координат. Дополнительными признаками являются устойчивые к поворотам и ракурсам камеры:

отношение вертикальной проекции ноги к её длине, уменьшение вертикальной компактности корпуса, снижение положения таза относительно колен.

Функция определения приседания реализует анализ углов колена $\theta_knee = \angle(hip, knee, ankle)$ и бедра $\theta_hip = \angle(shoulder, hip, knee)$. При приседании оба угла уменьшаются. Присед фиксируется, если хотя бы одна нога удовлетворяет угловым условиям $\theta_knee < 120°$ и $\theta_hip < 120°$., ключевые точки имеют высокую уверенность, признаки сохраняются на протяжении нескольких кадров (11).

$$S_{quat} = \begin{cases} 1, \theta_{knee.L} < 120° \text{или} \theta_{knee.R} < 120° \\ 0, \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (11)$$

Детекция положения «лёжа на спине» характеризуется следующими признаками:

- низкая вертикальная компактность тела (при лежачем положении расстояние между основными точками по оси Y значительно уменьшается);

- горизонтальность линии корпуса (линии плеч и бёдер имеют угол, близкий к нулю относительно горизонта);

- прямые или почти прямые углы в ногах (ноги часто выпрямлены, и углы в коленях стремятся к 180°).

Важно различать позы «лёжа на спине» и «лёжа на животе». Для этого можно использовать признаки, которые позволяют классифицировать схожие лежачие позы без использования обученных моделей:

- видимость и расположение головы – если детектор уверенно видит нос и глаза: нос выше ушей – человек лежит на спине, нос ниже ушей – человек лежит на животе.

- относительное положение ушей и плеч после коррекции перспективы $y_{ear} < y_{shoulder} \rightarrow lying.back$, $y_{ear} > y_{shoulder} \rightarrow lying.front$;

- направление вектора головы nose – shoulders: «вверх» – на спине, «вниз» – на животе.

Система с описанными функциями реализована на языке Python с использованием: OpenCV для работы с видеокадрами; Ultralytics YOLO для детекции поз и получения keypoints; NumPy для векторных вычислений; модулей из директории poses_detection для анализа конкретных поз. Пример упрощённого фрагмента кода:

```
results = model(frame, verbose=False)
for i in range(len(results[0].boxes)):
    kp = results[0].keypoints[i]
    points = kp.xy[0]
    confs  = kp.conf[0]
    hand_status  = check_hand_raised(points, confs)
    squat_status = check_squat(points, confs)
    label = f"human {confidence:.2f}{hand_status}{squat_status}"
    cv2.putText (annotated_frame, label, ...)
```

Цикл выполняет извлечение ключевых точек, анализ поднятых рук, приседания и отображение подписей на кадре.

Для проверки корректности работы алгоритмов использовались внутренний видеодатасет, TacticalStance-DB, ShootingSports-360, SecurityCam-Mixed. Датасеты включают различные ракурсы, условия освещения, типы камер и широкий набор поз (стойка стрелка, присед, положение лёжа), что позволяет оценить устойчивость системы в условиях, приближённых к реальному видеонаблюдению.

Использовались стандартные метрики Precision, Recall, F1-score, с помощью которых получены результаты:

- Стойка стрелка: Precision 94.2%, Recall 92.8%, F1 = 93.5%

- Приседание: Precision 92.3%, Recall 94.7%, F1 = 93.5%

- Поза лёжа: Precision 91.5%, Recall 90.2%, F1 = 90.8%

Средняя скорость обработки составляет 10–30 FPS в зависимости от оборудования.

Полученные результаты демонстрируют устойчивость алгоритмов к шумам, способность работать в многообъектных сценах, высокую точность при отсутствии

обученных классификаторов, эффективность сочетания геометрических правил и временной фильтрации. Таким образом, геометрический подход к детекции опасных обеспечивает интерпретируемость решений и стабильность поведения системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тёрк, М. Компьютерное зрение. Передовые методы и глубокое обучение / М. Тёрк, Р. Дэвис; перевод с английского В. С. Яценкова. — Москва: ДМК Пресс, 2022. — 690 с. — ISBN 978-5-93700-148-1. — Текст: непосредственный

2. Шапиро, Л. Компьютерное зрение: учебное пособие / Л. Шапиро, Д. Стокман; перевод с английского А. А. Богуславского; под редакцией С. М. Соколова. – 5-е изд. – Москва: Лаборатория знаний, 2024. – 763 с.: ил. – (Лучший зарубежный учебник). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-93208-725-1. – Текст: непосредственный.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АДМИНИСТРАТОРА ДЛЯ ШКОЛЫ ТАНЦЕВ «ПАРИ»

Сидорова Д.В., студент 4 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Симонова А. Г.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Введение

Качество работы танцевальной школы определяется не только мастерством преподавателей, но и эффективностью внутренних процессов. Если организация использует разрозненные инструменты (Excel, бумажные журналы, мессенджеры), рано или поздно возникают ошибки, потери данных и снижение качества обслуживания. Одним из способов решения этой проблемы является внедрение специализированной информационной системы, интегрирующей учёт клиентов, расписание, финансы и персонал в единое пространство.

Цель данной работы заключается в разработке проекта автоматизации школы танцев «Пари» путём создания информационной системы, которая будет способна решать следующие задачи:

- Вести единую базу данных клиентов, абонементов, расписания и посещаемости;
- Автоматизировать рутинные операции (поиск, учёт, формирование отчётов);
- Разграничивать права доступа для администратора, руководителя и тренеров;
- Обеспечить повышение качества обслуживания за счёт быстрого доступа к информации и исключения ошибок.

Анализ предметной области

Студия воздушного танца «Пари» была открыта 1 июня 2022 года на территории города Старый Оскол, Белгородской области [1]. На сегодняшний день предприятие предоставляет следующие занятия:

1. Воздушные полотна;
2. Pole exotic;
3. Растяжка;
4. High Heels;
5. Фитнес;
6. Full body.

Помимо этого, в услуги организации также входит: индивидуальные тренировки и аренда залов. Организация работает с различной возрастной категорией: взрослые от 18 лет, подростки от 14 до 18 лет и дети от 7 лет.

В основе структуры управления располагается руководство (индивидуальный предприниматель), который определяет стратегию развития студии, контролирует её финансовые потоки и общую деятельность. Кроме этого, ИП занимается маркетингом и партнерскими отношениями. В отношении маркетинга руководитель определяет рекламную стратегию и самостоятельно занимается взаимодействием с рекламными агентствами.

Описание существующего уровня автоматизации бизнес-процессов

Текущий уровень автоматизации бизнес-процессов нельзя назвать неорганизованным или полностью ручным. В организации присутствует некоторая эмуляция системы с помощью набора разрозненных, не связанных между собой инструментов.

В основе системы взаимодействия внутри организации находятся цифровые облачные документы, включая электронные таблицы Excel, взаимодействие с которыми происходит при помощи облачных сервисов Яндекс. В распоряжении организации имеется два персональных компьютера: на одном работает администратор, на втором — управляющий. Для взаимодействия с клиентами используются мессенджеры: WhatsApp и Telegram. На

сегодняшний день в организации отсутствуют какие-либо системы учета клиентов (CRM), весь учет ведется в электронных таблицах.

Наиболее автоматизированными являются этапы приема и проведения оплаты в соответствии с налоговым законодательством РФ. Для этих нужд используется автоматизированный кассовый аппарат СБЕР и подключенная к нему «онлайн-касса». В качестве основного оборудования используется установленный терминал, который позволяет фискализировать все операции, формировать автоматически чеки и отправлять их в ОФД, а данные дублировать в кабинет СБЕР.

Вся бухгалтерия ведется на аутсорсинге, поэтому проанализировать степень автоматизации данных бизнес-процессов не представляется возможным. Все сведения о выручке бухгалтер получает из личного кабинета ОФД, а сведения по затратам от руководителя организации, которому передается информация от управляющего по личным каналам связи. Все чеки фотографируются администраторами и хранятся в специальном рабочем чате.

Таким образом, анализ действующего уровня автоматизации бизнес-процессов показывает, что на сегодняшний день в школе танцев используется хаотичная автоматизация.

Анализ существующих решений

В результате анализа существующих решений было установлено следующее:

1. YCLIENTS не покрывает задачи учета имущества, плохо подходит для организации учета групп и занятий. Средства доработки присутствуют, но потребуется серьезная модификация или создание дополнительного модуля [2];
2. Mindbox имеет высокую стоимость и сложность первоначальной настройки, которая потребует постоянного специалиста, чтобы поддерживать систему в рабочем состоянии. Обладает очень слабым модулем ведения записей и учета клиентов, но имеет преимущества как сильная CRM-системы [3];
3. Класс365 очень мощное «коробочное» решение, которое в отдельном случае можно было рассматривать для внедрения в организацию и покрытия большинства выявленных ранее недостатков, однако оно обладает существенной ценой и будет очень долго амортизироваться. Кроме этого, все равно потребуется дополнительная доработка модулей именно под специфику работы танцевальной школы [4].

Таким образом, анализ рынка доступных решений подтвердил, что на сегодняшний день, для рассматриваемой ниши не существует решения и наиболее предпочтительным видится разработка программного обеспечения с нуля исключительно под нужды и техническое задание заказчика.

Предлагаемое решение

Бизнес-процесс управления школой танцев с учётом внедрения информационной системы предполагает, что рутинные операции учёта клиентов, формирования расписания и контроля посещаемости будут переданы под управление информационной системы. Это позволит администратору и руководителю оперативно вносить изменения, исключить дублирование данных и снизить вероятность ошибок.

Система реализована с разграничением прав доступа. Выделены три роли пользователей: администратор, управляющий и мастер (тренер). На рис. 1 представлена диаграмма разграничения функционала по ролям.

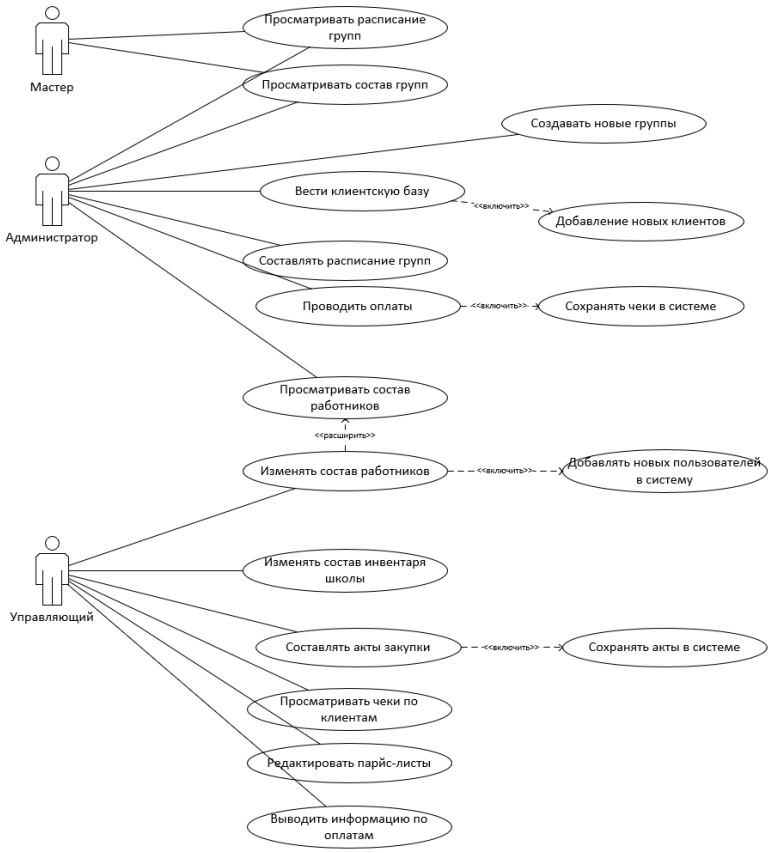


Рис. 19 – Диаграмма разграничения функционала по пользователям

На рис. 2 представлена главная экранная форма, которая может быть раскрыта на подмодули.

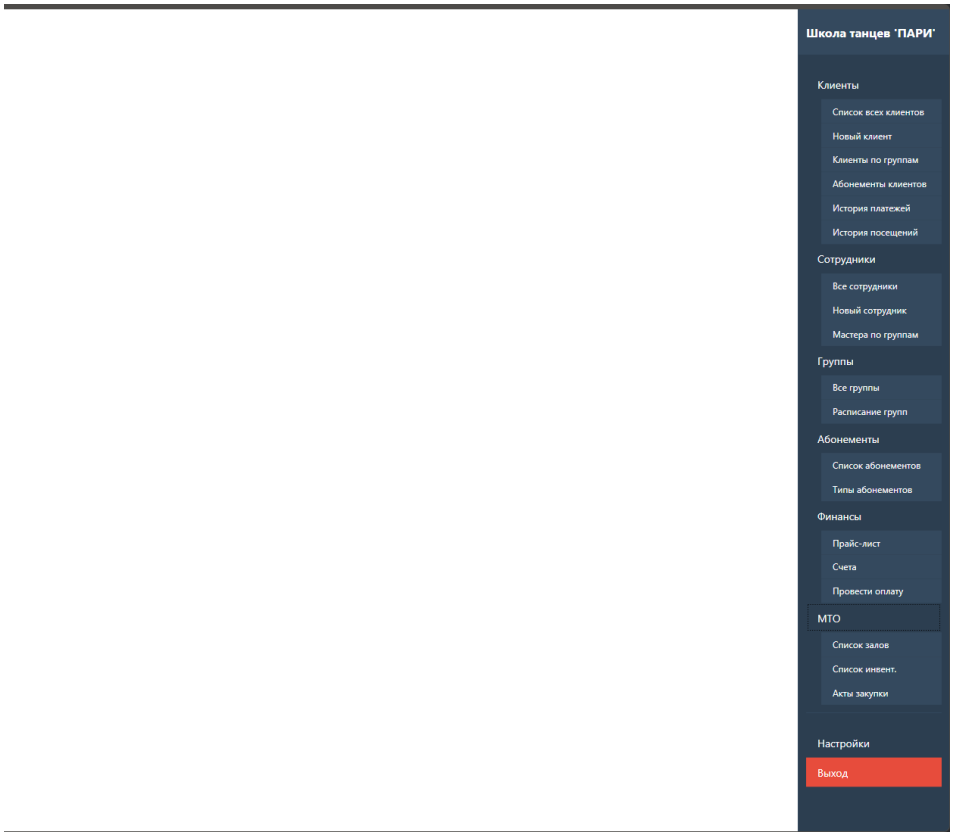


Рис. 20 – Раскрытая навигация экранной формы

На рис. 3 показан подмодуль «Список клиентов».

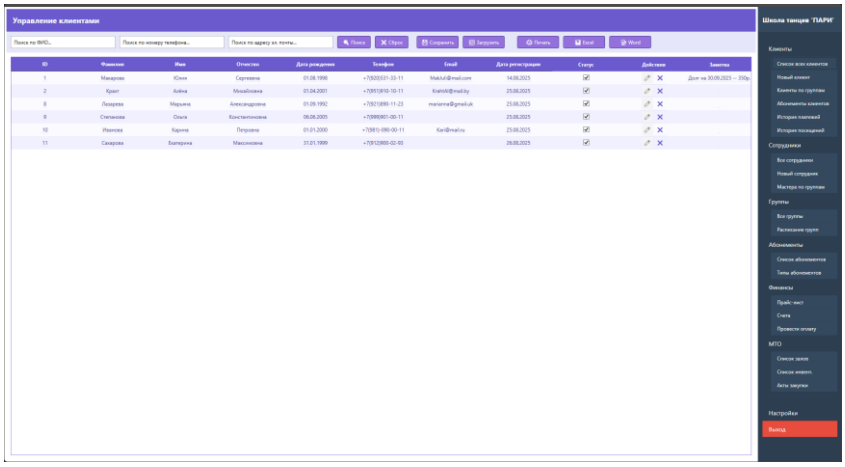


Рис. 21 – Подмодуль «Список клиентов»

Как можно заметить, в основе данного подмодуля лежит табличное представление, которое защищено от прямого редактирования. Для того, чтобы выполнить редактирование клиента необходимо нажать на соответствующую кнопку «Действия» напротив конкретного клиента. Это приведет к открытию экранной формы для редактирования (рис. 4).

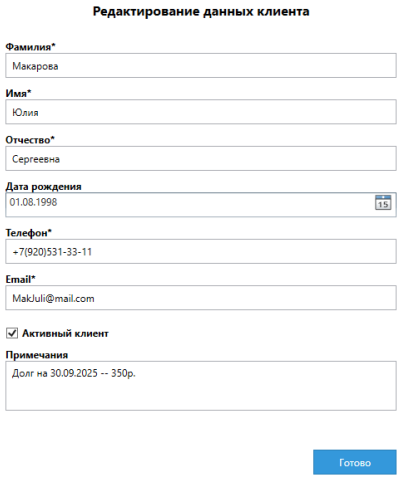


Рис. 4 – Экранная форма для редактирования информации по клиентам

Заключение

Данная разработка позволит вести клиентскую базу, расписание и учёт посещаемости в единой информационной среде, снижая временные затраты администратора и руководителя и минимизируя риск ошибок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Группа ВКонтакте школы танцев «Пари» https://vk.com/airdancepari (дата обращения: 11.02.2026).
2. YCLIENTS: обзор CRM для сферы услуг [Электронный ресурс] // Блог Click.ru. – 2024. – 28 мая. – URL: https://blog.click.ru/management/yclients/ (дата обращения: 11.03.2026).
3. Mindbox : официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: https://mindbox.ru/ (дата обращения: 17.03.2026).
4. Class365 : портал по автоматизации малого бизнеса [Электронный ресурс]. – URL: https://class365.ru/ (дата обращения: 17.03.2026).

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦАУ-1 КСМД АО «МИХАЙЛОВСКИЙ ГОК ИМ. А.В. ВАРИЧЕВА»

Сидоров И.О., студент 4 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Моторина Н.П.**
Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Центральная аспирационная установка (ЦАУ-1) в корпусе среднего и мелкого дробления (КСМД) Михайловского ГОКа (МГОК) – это система, предназначенная для удаления пыли и других загрязняющих веществ из рабочей зоны. Она играет ключевую роль в обеспечении безопасных условий труда, снижении концентрации вредных веществ в воздухе и предотвращении загрязнения оборудования. ЦАУ-1 решает следующие задачи:

• отсасывать запыленный воздух от источников образования пыли (дробилок, грохотов и других технологических узлов);

• поддержание концентрации пыли в воздухе в пределах предельно допустимых концентраций (ПДК) в соответствии с требованиями ГОСТ и СанПиН.;

• защита оборудования от пыли (пыль, оседая на механизмах может приводить к их износу и снижению эффективности работы);

• аспирация снижает риски взрывов и пожаров: в некоторых случаях пыль угольная, древесная и др. может создавать взрывоопасные смеси.

Привод аспирационной установки осуществляется центробежным дымососом ДН-26х2-0,62К (внешний вид дымососа представлен на рисунке 1)[1, 3].

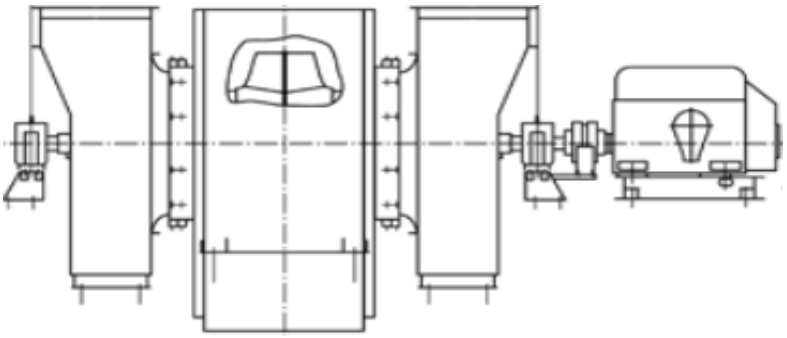


Рис. 1 – Внешний вид дымососа ДН-26х2-0,62К

Технические характеристики дымососа ДН-26х2-0,62К представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики ДН-26х2-0,62К

Наименование, ед. измерения	Значение
Производительность, тыс. $м^3$/ч	467
Полное давление, Па	4334
Температура, ° С	200
КПД, %	85
Запылённость, г/$м^3$	2

В процессе дробления и просева руды на грохотах образуется значительное количество пыли. Она поднимается в воздух при падении материала, пересыпках и вибрации грохотов. Дымосос выполняет функцию мощного вентилятора, создающего разрежение в системе. Запыленный воздух отсасывается через местные отсосы – зонты или кожухи, установленные над грохотами. Далее по сети воздуховодов поток направляется к фильтрующему оборудованию (циклону или рукавному фильтру), где происходит отделение твердых частиц.

Очищенный воздух либо выбрасывается в атмосферу, либо (если это допустимо по санитарным нормам) частично возвращается в производственное помещение. Собранная пыль выводится в накопительный бункер для дальнейшей утилизации или переработки.

В установке центробежного дымососа двустороннего всасывания типа ДН-26х2-0,62К используется электродвигатель ДАЗО2 17-44-8У1 технические характеристики которого представлены в таблице 2[1].

Таблица 2 – Технические характеристики дымососа ДАЗО2 17-44-8У1

Наименование, ед. измерения	Значение
Напряжение питания, В	6000
Мощность, кВт	800
Момент инерции, кг·м^2	3500
Частота вращения, об/мин	750
Частота сети, Гц	50
КПД, %	95,2
cos φ	0,77
$M_К/M_Н$	2,5
Степень защиты	IP44
$I_П/I_Н$	5,5
Режим работы	S1

Дымосос ДН-26х2 может эффективно работать в системе аспирации для удаления пыли от грохотов, но лишь при соблюдении жестких ограничений по запыленности, абразивности и температуре среды. Для долгосрочной и безаварийной эксплуатации критически важны регулярный мониторинг состояния оборудования, своевременная очистка воздуховодов и фильтров, а также корректировка режимов работы системы в соответствии с реальными условиями процесса[3].

При работе дымососа используются два двигателя ДАЗО2 17-44-8У1 (1 рабочий и 1 резервный), так как в случае простоя оборудования уровень запыленности может достигать критических значений[1, 3].

На предприятии 36 работающих грохотов обслуживает дымосос, который запускается прямым пуском. Высоковольтный двигатель дымососа 800 кВт каждый раз включается напрямую с высокими пусковыми токами, на полную мощность, без регулирования скорости вращения. Резкий старт вызывает ударные нагрузки на подшипники, муфты, ременную/зубчатую передачу, вибрации, сокращение срока службы дымососа и воздуховодов, риски расцентровки и преждевременного выхода из строя узлов. Дымосос всегда работает в одном режиме, даже если часть грохотов отключена или загружена не полностью. При изменении реальной потребности в аспирации дымосос работает на полную мощность. Происходит избыточное энергопотребление без прироста эффективности пылеудаления.

Модернизация электропривода позволит поддерживать оптимальный баланс между эффективностью аспирации и энергозатратами; экономить потребление электроэнергии; исключит пусковые токи; продлит срок службы электрического и механического оборудования, уменьшит риск аварий, внеплановых ремонтов; позволит автоматизировать процесс пылеудаления[1-3].

Выполнен подбор оборудования для системы электропривода аспирационной установки с акцентом на доступные модели электродвигателей, а также выбрана система управления.

В ходе решения задач модернизации электропривода прошли проверку по основным характеристикам и установочным размерам двигатели серии АОД и установленные ДАЗО2 17-44-8У1, которые взаимозаменяемы в тягодутьевых установках. По параметрам дымососа была определена расчетная мощность с учетом коэффициента запаса 1,1 для больших

мощностей, которая составила 727561 Вт. Выполнено полное соответствие установленного электродвигателя мощностью 800 кВт по ключевым рабочим параметрам: величине производительности дымососа, полного давления и потребляемой мощности. Это позволяет сделать вывод о корректности используемого агрегата для выполнения задач.

На рисунке 2 представлены рабочие характеристики дымососа[1, 2].

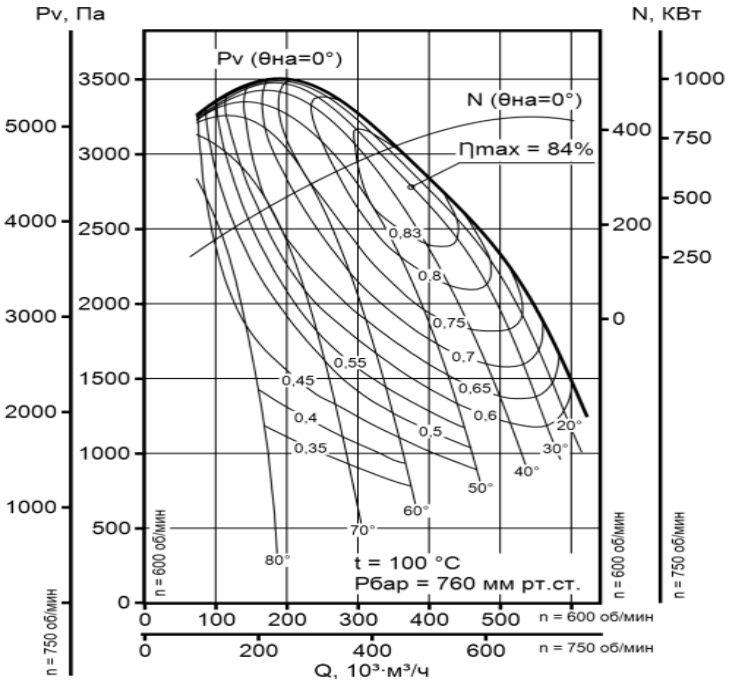


Рис. 2 – Рабочие характеристики дымососа ДН-26х2-0,62К

С целью получения результатов режимов работы частотно-регулируемого асинхронного электропривода (ПЧ-АД) необходимо знать параметры схемы замещения двигателя: активные сопротивления статора, ротора. (R_1, R_2'); значения индуктивностей цепи статора, ротора и ветви намагничивания (L_1, L_2', L_m). Полученная модель двигателя используется в модели всего электропривода ПЧ-АД: получения пусковых токов; настройки системы управления, моделирования переходных процессов. Выполняется моделирование прямого пуска двигателя для подтверждения адекватности выполненных расчетов. Внесенные параметры двигателя для выполнения моделирования приведены на рисунке 3.

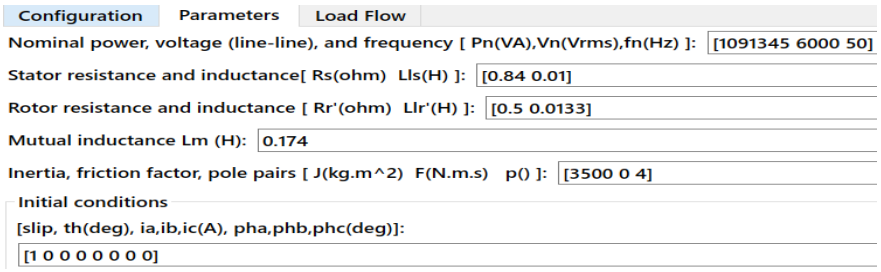


Рис. 3 – Параметры двигателя

В процессе модернизации электропривода дымососа предусмотрено проектирование системы управления асинхронным двигателем. Основу системы составят высоковольтные двигатели, а для достижения максимальной энергоэффективности и производительности разрабатывается автоматизированная система управления электроприводами оборудования дымососа. Эта система обеспечит регулирование рабочих параметров и надёжное функционирование всей инфраструктуры в соответствии с установленными производственными стандартами[2, 3].

В аспирационной установке планируется установить преобразователь частоты, индивидуально работающий с каждым из двигателей (с основными и резервным). В связи с тем, что электропривод работал с прямым пуском, то необходимо спроектировать и изготовить новый шкаф управления (ШУ), который будет адаптирован под характеристики и требования новой модернизации и стандартов безопасности. ПЧ создает принципиально другой уровень защиты и контроля, минимизирует вероятность аварийных ситуаций и обеспечивает полный обзор текущего состояния оборудования. Это особенно ценно в критически важных системах, где от работоспособности техники напрямую зависят безопасность людей и сохранность объектов.

По величинам номинальных тока и мощности двигателя выбирается преобразователь частоты Invt GD5000-A1250-06, который будет выполнять постоянный мониторинг состояния двигателя и электрической сети в режиме реального времени; обеспечит их защиты.

Используя модель электропривода (рис.4), зададим параметры управляемого двигателя, звена постоянного тока и емкости сглаживающего конденсатора в маске блока Field-Oriented Control Induction Motor Drive.

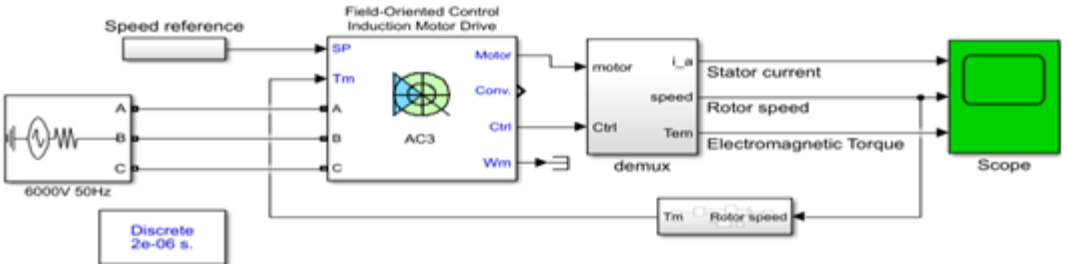


Рис. 4 – Модель электропривода

Для сохранения требуемого качества управления без применения датчиков внедрен адаптивный наблюдатель скорости (рисунок 5).

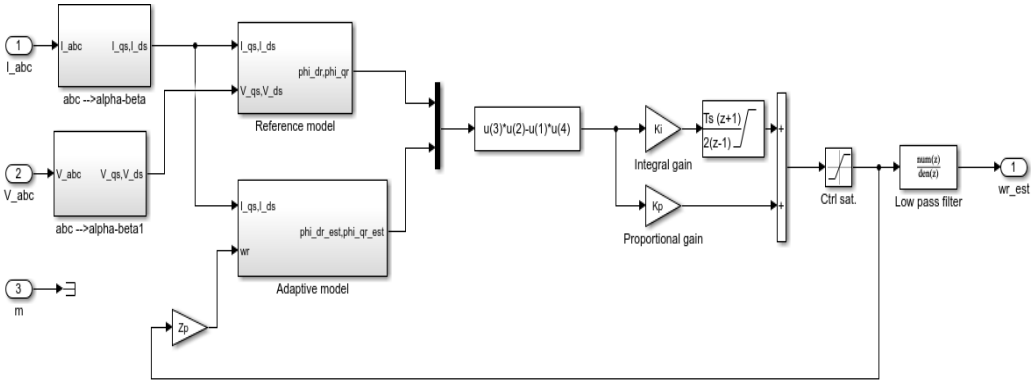


Рис. 5 – Модель адаптивного наблюдателя скорости

В результате проведённых расчётов была выполнена модель предлагаемой системы электропривода с использованием MATLAB / Simulink. В ходе моделирования воспроизводился технологический процесс пуска, работы в номинальном режиме и остановки дымососа.

На первом этапе привод разгоняется до номинальной скорости. При достижении номинальной скорости вращения электропривода, дымосос, проработав 20 секунд, начинает снижать свою скорость, затем, через 40 секунд полностью останавливается.

Выводы. Результаты моделирования подтвердили, что разработанная система электропривода полностью удовлетворяет предъявляемым требованиям к приводу дымососа аспирационной установки. Она обеспечивает стабильное поддержание крутящего момента и регулировку скорости вращения электропривода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каталог по асинхронным двигателям серии ДАЗО и их модификациям [Электронный ресурс] // Электротехнический портал.– Режим доступа – URL: https://obscheprom.ru/obshhepromyshlennye-asinhronnye-jelektrodvigateli/ (дата обращения:15.03.2026).

2. Ключев, В. И. Теория электропривода: учеб. пособие для вузов. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.: ил. – Текст: непосредственный.

3. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. [Электронный ресурс] – режим доступа – URL: https://pue-7.ru/pue_7.pdf (дата обращения: 1.10.2025).

МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФЕРРИТОВ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЕТЛЁЙ ГИСТЕРЕЗИСА. МАРКИ И ПАРАМЕТРЫ ФЕРРИТОВ С ППГ

Смирнов А.В., студент 1 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Мякотина М.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Среди множества магнитных материалов, которые сегодня применяются в электронике, ферриты с прямоугольной петлёй гистерезиса (ППГ) стоят особняком. Это ферримагнитные оксиды со структурой шпинели, и их главная «изюминка» в том, что петля намагничивания по форме действительно близка к прямоугольнику. Благодаря этому материал сам, без внешнего подпирающего поля, надёжно фиксируется в одном из двух состояний намагниченности – удобно для хранения бита, но на практике удобство это часто оборачивается неожиданными сложностями [1].

Исторически интерес к таким ферритам разгорелся в начале 1950-х, когда Джей Форрестер в MIT показал работающую ферритовую матрицу памяти. В СССР тоже не отставали: к 1960-м годам несколько заводов уже штамповали сердечники для ЭВМ первого и второго поколений. Потом пришла полупроводниковая DRAM, и казалось, что ферритовые матрицы ушли в прошлое. Но на практике они никуда не делись – просто переместились в ниши, где полупроводники пасуют: радиационно-стойкая аппаратура, силовые импульсные преобразователи, СВЧ-тракты. И вот тут-то и выясняется, что работать с этими материалами в реальном изделии гораздо капризнее, чем читать про них в учебниках [2].

Цель работы, на первый взгляд, скромная: разобраться, какие физические эффекты вообще формируют прямоугольную петлю, как устроена керамическая технология и чем отличаются отечественные марки по параметрам. Но за этими формулировками стоит более прикладная задача – понять, почему, скажем, литий-цинковый феррит ЛЦ-2 даёт $\eta > 0{,}95$, но при малейшем нарушении режима спекания превращается в материал с «плывущей» петлёй, а марганец-цинковый 2000НМ-ППГ, будучи очень чувствительным к наводкам в схемах управления, в космической аппаратуре оказывается надёжнее, чем следует из его табличных параметров. Так что в работе я попытаюсь не просто пересказать известные сведения, а выделить именно те технологические нюансы и ошибки, которые на практике определяют, получится из феррита работоспособное устройство или нет.

Чтобы понять, откуда берётся прямоугольная петля, нужно рассмотреть два явления, которые действуют одновременно и взаимно усиливают друг друга.

Первое – однодоменное состояние зёрен. Если поперечный размер кристаллита не превышает некоторого критического значения dкр, в нём физически не умещается доменная стенка. Однодоменное состояние реализуется при диаметре частицы, не превышающем критического значения dкр. Условие однодоменности для сферической частицы:

$$d < d_{кр} = \sqrt{9(A \cdot K_1)} \,/\, (\mu_0 \cdot Ms^2) \qquad (1)$$

где A – константа обменного взаимодействия, Дж/м; K_1 – константа магнитокристаллической анизотропии, Дж/м³; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; Ms – намагниченность насыщения, А/м [3].

Всё зерно тогда представляет собой единственный домен, и при перемагничивании вектор намагниченности разворачивается разом, скачком, а не за счёт постепенного смещения границы. Именно такой скачок и даёт крутой перепад индукции, характерный для «прямоугольной» петли. Оценка критического диаметра для сферической частицы строится на соотношении энергий обменного взаимодействия и магнитостатики [3].

Второе явление – кристаллографическая текстура. Если у большинства зёрен в поликристалле оси лёгкого намагничивания направлены в одну сторону, то при приложении поля все они переключаются примерно при одном и том же значении напряжённости. Это

делает переход резким по всему объёму образца, а не размытым из-за разброса ориентировок. Коэффициент прямоугольности определяется как:

$$\eta = \frac{Br}{Bm} \quad (2)$$

где Br – остаточная индукция, Bm – индукция насыщения. Для промышленных ферритов с ППГ требуется $\eta \geq 0{,}85$; оптимальные материалы достигают $\eta = 0{,}95–0{,}99$ [4].

Не менее важную роль играет химический состав областей на границах зёрен. В плотно спечённом феррите эти границы оказываются обеднёнными магнитными катионами, что приводит к формированию локального энергетического барьера для зарождающихся доменов обратной ориентации. Наличие такого барьера задерживает перемагничивание до тех пор, пока внешнее поле не превысит некоторое пороговое значение, – после чего переключение происходит практически мгновенно, в лавинообразном режиме. Именно совместное действие всех трёх описанных факторов обеспечивает ту стабильность состояний и резкость переключения, за которые эти материалы ценятся в практических применениях [3].

Подготовка шихты

В основе промышленного получения ферритов с прямоугольной петлёй гистерезиса лежит традиционный керамический подход – твёрдофазный синтез. Исходную шихту составляют из оксидов и карбонатов железа, марганца, лития, цинка, никеля, взятых в степени чистоты не ниже «ч.д.а.» Особое внимание уделяют содержанию примесей кремния, кальция и алюминия: их суммарная доля не должна превышать 0,05 мас%, так как даже незначительное количество этих элементов провоцирует образование немагнитных фаз по границам зёрен. В результате петля гистерезиса теряет прямоугольность, а коэффициент η снижается [5].

Компоненты смешивают и измельчают в шаровых мельницах, используя в качестве рабочей среды воду или этанол – это позволяет минимизировать загрязнение продукта продуктами износа мелющих тел. Продолжительность помола составляет 4–8 часов, за которые частицы достигают субмикронных размеров, что в дальнейшем обеспечивает высокую плотность упаковки при формовании изделий. Полученную суспензию отфильтровывают, высушивают и направляют на предварительный обжиг.

Синтез шпинельной фазы

Высушенную шихту обжигают при 700–950 °C, чтобы из смеси простых оксидов образовалась целевая шпинель MeFe2O4. Карбонатные добавки при этом разлагаются, объём шихты заметно уменьшается. Атмосферу в печи подбирают под конкретный состав: марганец-цинковые ферриты синтезируют на воздухе при 750–850 °C, для литиевых систем температуру поднимают до 850–950 °C из-за их большей термодинамической стабильности [5].

После обжига спёкшийся порошок дробят повторно и смешивают со связкой – поливиниловым спиртом или полиэтиленгликолем – для последующей грануляции. Метод распылительной сушки позволяет получить округлые гранулы диаметром 50–200 мкм с хорошей сыпучестью, что критично для равномерного заполнения пресс-форм сложной конфигурации.

Ориентирующее прессование

Ключевой технологической операцией, отличающей производство ферритов с ППГ от обычной ферритовой керамики, является прессование в магнитном поле. Форму с засыпанным гранулятом помещают в зазор электромагнита с напряжённостью поля 400–800 кА/м. Под его воздействием кристаллиты поворачиваются осями лёгкого намагничивания вдоль вектора поля ещё до момента уплотнения, и затем пресс «замораживает» эту ориентацию. Результат – текстурированный сырец с заданной анизотропией [4].

Для изделий с высокими требованиями по прямоугольности (тороиды для СВЧ-трактов, магнитные усилители) применяют горячее прессование: уплотнение совмещают со спеканием при 900–1100 °C в том же ориентирующем поле. Такой подход даёт более однородную мелкозернистую структуру и η, приближающийся к предельным значениям.

Спекание и контроль атмосферы

Спекание – самая «капризная» стадия с точки зрения контроля параметров. Для марганец-цинковых ферритов критична парциальная концентрация кислорода в печи: при слишком высоком pO2 марганец излишне окисляется, при низком – образуются выделения вюстита. Обе ситуации ухудшают прямоугольность. Поэтому процесс ведут в регулируемой азотно-кислородной смеси при температуре 1200–1350 °C, тщательно отслеживая состав атмосферы [5].

Литий-цинковые ферриты в этом отношении проще: они спекаются на воздухе при 1050–1200 °C, поскольку стабильное состояние лития в шпинели не требует контроля pO2. Зато для них критична скорость охлаждения: резкая закалка «замораживает» дефекты кристаллической решётки и снижает коэрцитивную силу до нежелательных значений. Практика показывает, что охлаждение со скоростью 30–60 °C/мин даёт стабильно воспроизводимые магнитные характеристики.

После спекания изделия шлифуют алмазным инструментом до заданных геометрических допусков и покрывают влагозащитным лаком или эпоксидным компаундом. Приёмочный контроль включает измерение η, поля переключения Hs и времени переключения τs по методике ГОСТ 24444–88.

Промышленные марки и их характеристики

Российская номенклатура ферритов с ППГ регулируется ГОСТ 25981-83. По химической основе марки делятся на три группы: марганец-цинковые (МЦ), литий-цинковые (ЛЦ) и марганец-магниевые (ММ). Среди зарубежных производителей аналоги выпускают TDK, Ferroxcube и Fair-Rite, хотя их системы обозначений принципиально отличаются от отечественных [6].

Марганец-цинковые ферриты (состав Mn1-xZnxFe2O4, x ≈ 0,10–0,40) выделяются самой высокой начальной магнитной проницаемостью μi в этом классе – до 2000 единиц – и минимальными полями переключения (Hs = 16–40 А/м). Это означает, что управлять сердечником можно при небольших токах, что экономит энергию и упрощает схему. Температурный диапазон применения: от −60 до +85 °C, точка Кюри – 130–250 °C. Основные марки: 2000НМ-ППГ и 1000НМ-ППГ.

Литий-цинковые ферриты (система Li0,5Znx Fe2,5-xO4) – наиболее перспективная группа для ответственных применений. Их главное преимущество – рекордный для оксидных материалов коэффициент прямоугольности η до 0,99 и высокая точка Кюри (400–520 °C). Последнее особенно важно для бортовой аппаратуры, где рабочие температуры могут превышать 100 °C. Марки ЛЦ-1, ЛЦ-2, ЛЦ-4 в этом отношении заметно превосходят марганец-цинковые аналоги [6].

Марганец-магниевая система (MnMgFe2O4) исторически была освоена раньше двух других. При умеренном η = 0,85–0,92 она привлекательна простотой технологии: спекание идёт в обычной воздушной атмосфере без специального контроля pO2. За это приходится платить повышенным полем переключения (50–120 А/м), что накладывает ограничения на быстродействие схемы. Марки ММ-1 и ММ-2 широко используются в промышленной автоматике.

В таблице 1 собраны ключевые характеристики основных марок для удобства сопоставления.

Таблица 1 – Сравнение параметров ферритов с ППГ

Марка	Br, мТл	η = Br/Bm	Hs, А/м	TC, °C	Примечание
ЛЦ-2	270–310	≥ 0,95	20–50	450	Рекордный η, лучшая термостабильность
ЛЦ-4	250–290	≥ 0,94	25–55	420	Расширенный рабочий диапазон

Марка	Br, мТл	η = Br/Bm	Hs, А/м	TC, °C	Примечание
2000НМ-ППГ	180–220	≥ 0,90	16–40	180	Высокая μi, малые управляющие токи
1000НМ-ППГ	160–200	≥ 0,88	20–50	150	Низкие потери, экономичный режим
ММ-1	170–190	≥ 0,85	60–120	280	Простая технология, низкая цена
ММ-2	180–200	≥ 0,87	50–100	290	Улучшенный вариант ММ-1

При работе с ферритами, имеющими прямоугольную петлю гистерезиса, сразу бросается в глаза, как сильно выбор конкретной марки влияет на «поведение» материала в готовом изделии. Хрестоматийный пример – ферритовые матрицы памяти, где тороидальные сердечники диаметром от 0,8 до 2,5 мм нанизывались на провода, образуя массив, в котором каждый торик хранил один бит. Казалось бы, технология давно вытеснена полупроводниковой SRAM, но на практике именно эти сердечники до сих пор остаются единственным разумным вариантом для бортовой аппаратуры космических аппаратов и систем управления ядерными реакторами: ни один полупроводник не выдерживает таких уровней радиации без сбоев. Однако, когда сталкиваешься с реальными заказами на такие матрицы, выясняется, что главная сложность – даже не в самих ферритах, а в том, что квалифицированных сборщиц, способных вручную нанизывать тысячи сердечников с заданной натяжкой, уже почти не осталось. При этом малейшее механическое напряжение в процессе монтажа меняет коэрцитивную силу, и разброс параметров в партии может оказаться недопустимым.

Куда более распространённая область, с которой приходится иметь дело на практике – импульсные трансформаторы для передачи прямоугольных импульсов. Здесь прямоугольная петля позволяет сердечнику долго оставаться в ненасыщенном режиме, не искажая фронты. Но тут же всплывает нюанс: если взять, скажем, марку 2000НМ-ППГ с её высокой начальной проницаемостью и малыми полями переключения, то в схемах управления силовыми ключами легко нарваться на ложные срабатывания из-за наводок. Приходится либо ставить дополнительные экраны, либо переходить на более «тугую» ММ-1, у которой поле переключения выше, зато помехоустойчивость лучше. А с литий-цинковыми ферритами, например ЛЦ-2, другая беда: их рекордный коэффициент прямоугольности (η до 0,99) и высокая точка Кюри – это, безусловно, здорово, но спекать их нужно строго по режиму, иначе из-за малейшего отклонения температуры или скорости охлаждения получаешь разброс η в партии, который сводит на нет все преимущества.

В СВЧ-технике, особенно в циркуляторах и изоляторах диапазона 0,5–3 ГГц, текстурированные литий-цинковые ферриты вообще вне конкуренции: анизотропия и высокий η обеспечивают требуемые развязку и вносимые потери. Но тут технология прессования в магнитном поле становится критической. Если на предыдущих стадиях можно было как-то скорректировать режимы, то при изготовлении таких ферритов ошибиться с ориентацией поля во время прессования – значит получить брак, который не исправить никаким последующим спеканием.

В общем, за кажущейся простотой керамической технологии скрывается масса нюансов, и выбор марки – это всегда компромисс между желаемой прямоугольностью, технологической стабильностью и тем, насколько готовый феррит «прощает» ошибки сборки и монтажа.

Главная хитрость в том, что три определяющих фактора – однодоменное состояние зёрен, текстура и состав межзёренных границ – действуют только сообща. Если хотя бы один из них «проваливается», материал перестаёт быть прямоугольным, сколько ни старайся. Например, на одной из партий ЛЦ-2 мы получили η всего 0,88 вместо паспортных 0,95 – и

пришлось биться с технологами, пока не выяснили, что при спекании нарушили температурный профиль, из-за чего границы зёрен «затянуло» паразитными фазами. А на марганец-цинковых ферритах, наоборот, чаще всего подводит исходный порошок: если примесь кремния чуть превышает 0,05%, то никакая текстура уже не спасает, петля «разваливается» ещё на стадии контроля.

С технологической точки зрения ориентирующее прессование в магнитном поле – это та операция, которая отделяет ферриты с ППГ от обычной керамики. На первый взгляд всё просто: насыпал порошок, включил поле, спрессовал. Но на практике тут масса подводных камней. Во-первых, если пресс-форма недостаточно жёсткая, при снятии поля часть зёрен успевает «расслабиться», и ориентация сбивается. Во-вторых, для каждого состава нужно подбирать свою напряжённость: для марганец-цинковых достаточно 400–500 кА/м, а для литий-цинковых – не менее 700, иначе текстура получается неполной. Бывало, что из-за спешки настройки мы получали партию, в которой половина изделий имела $\eta > 0{,}9$, а вторая половина – едва выше 0,8, и это при том, что исходный порошок был из одной партии. Так что оператор на этом этапе должен быть, пожалуй, самым квалифицированным.

Выбор марки – это всегда компромисс, и тут теория часто расходится с практикой. Да, литий-цинковые ферриты дают максимальную прямоугольность и термостабильность, но они же и самые капризные в спекании. Чуть перегрел, чуть не так остудил – и всё, η поплыл, а брак уже не исправить. Марганец-цинковые проще в управлении, но их низкие поля переключения, которые в учебниках выдают за преимущество, на реальных объектах оборачиваются головной болью: из-за высокой чувствительности они часто ловят наводки, и схема начинает самопроизвольно переключаться. А марганец-магниевые (типа ММ-1) при своей дешевизне и неприхотливости дают η всего 0,85–0,87, и, если нужна чёткая прямоугольность для работы в импульсном режиме, их применение ограничено. Поэтому, когда принимаешь решение, какой феррит ставить в устройство, приходится учитывать не только табличные параметры, но и то, насколько технология на заводе «обкатана», и какой запас по стабильности реально нужен.

Говоря о перспективах, могу сказать, что традиционный твёрдофазный синтез уже начинает сдавать позиции. Золь-гель-методы и сопряжённое осаждение, о которых сейчас много пишут, действительно позволяют получать более однородные наноразмерные порошки, а главное – снижают температуру спекания на 200–300 °C. Это не только энергосбережение, но и возможность сохранить мелкое зерно, что важно для однодоменности. Я сам участвовал в экспериментах с искровым плазменным спеканием (SPS), и там есть свои нюансы: удаётся получать структуру с размером зерна менее 1 мкм и η выше 0,96, но оборудование пока дорогое, а для крупных сердечников сложно обеспечить равномерность. Думаю, в ближайшие годы эти методы войдут в промышленную практику, но только для тех применений, где стабильность и прямоугольность оправдывают затраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов К.П. Ферриты в сильных магнитных полях. – М.: Наука, 1988. – 237 с.
2. Forrester J.W. Digital information storage in three dimensions using magnetic cores // Journal of Applied Physics. – 1951. – Vol. 22, № 1. – P. 44–48.
3. Cullity B.D., Graham C.D. Introduction to Magnetic Materials. – 2nd ed. – Hoboken: Wiley-IEEE Press, 2009. – 544 p.
4. Никольский Б.П., Романькова В.Т. Технология ферритов. – Л.: Химия, 1978. – 264 с.
5. Каминский В.Б., Сердюк В.В. Керамическая технология оксидных магнитных материалов. – М.: Металлургия, 1986. – 193 с.
6. ГОСТ 25981-83. Ферриты магнитные. Основные параметры. – М.: Изд-во стандартов, 1983.

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ДИАГРАММ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИГНАЛА ВИБРОУСКОРЕНИЯ БАРАБАНА ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Соколов Д.И., аспирант 1 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Полещенко Д.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Эффективность работы барабанных шаровых мельниц в процессах обогащения железных руд зависит от комплекса режимных параметров: скорости вращения, степени заполнения мелющими телами и материалом. Отклонение от оптимального уровня загрузки ведёт к перегрузам, остановкам оборудования или снижению производительности. Традиционные методы контроля загрузки часто технически сложны. Перспективным направлением является виброакустический мониторинг, позволяющий по параметрам вибрации корпуса оценивать состояние внутримельничной загрузки [1, 2]. Цель работы — экспериментальное исследование изменения углового положения максимума виброускорения при варьировании рудной загрузки при фиксированной шаровой массе.

Эксперименты проводились на лабораторном макете шаровой мельницы с регулируемым приводом. В барабан (внутренний радиус 77 мм) загружалось 8 кг стальных шаров диаметром 8 мм (42% от максимальной шаровой загрузки). Затем поэтапно добавлялась руда порциями по 0,3 кг. Скорость вращения поддерживалась постоянной — 60 об/мин, что составляет 55,6% от критической скорости. Время съёма сигнала виброускорения для каждого уровня загрузки составляло 1,5 мин после установления скорости. Теоретический угол максимальной концентрации шаровой массы для данной скорости, определённый из условия равновесия шара на вращающейся стенке, составляет около 150° (отсчёт от верхней точки барабана по направлению вращения).

На рис. 1 приведены графики чистого сигнала виброускорения при различной массе добавленной руды. Наблюдается плавное затухание амплитуды по мере увеличения загрузки, что объясняется демпфированием ударов шаров о корпус рудным материалом — энергия расходуется на разрушение частиц.

Для анализа углового распределения вибрации построены радиальные диаграммы (рис. 2). При дальнейшем увеличении рудной массы (свыше 0,9 кг) угол максимума начинает уменьшаться, стремясь к нулю при максимальной загрузке. Снижение угла свидетельствует об уменьшении высоты подъёма мелющих тел и переходе энергии преимущественно в режим истирания (рис. 3).

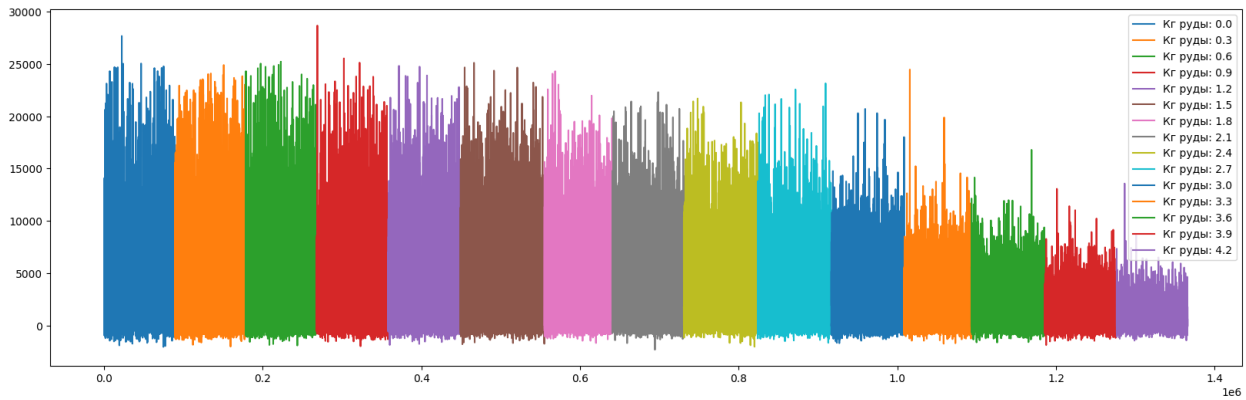


Рис. 1 – График сигнала виброускорения в зависимости от степени загрузки шаровой мельницы.

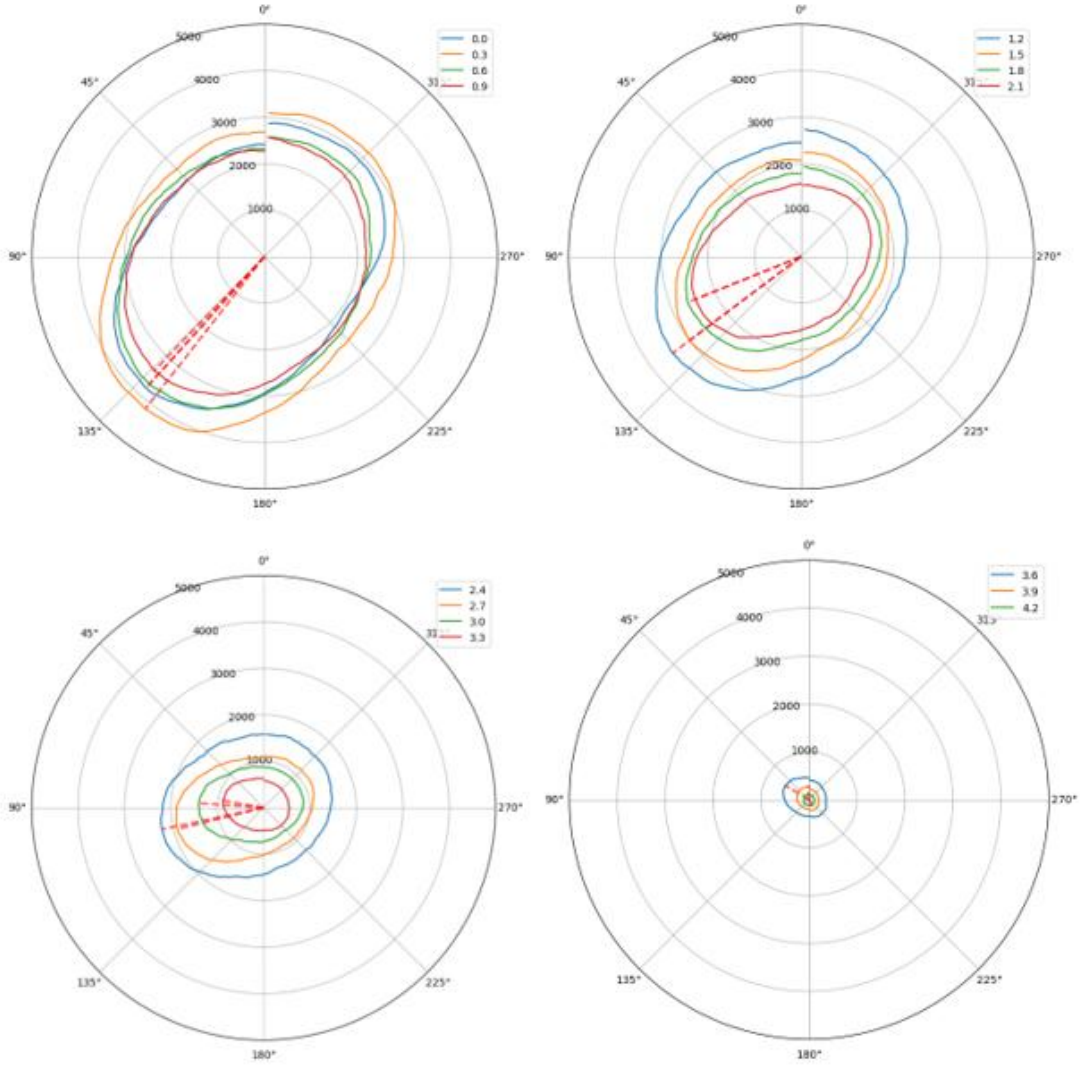


Рис. 2 – Диаграммы радиального распределения отфильтрованного сигнала виброускорения относительно направления вращения шаровой мельницы в зависимости от рудной загрузки с отметками максимального угла вибрации.

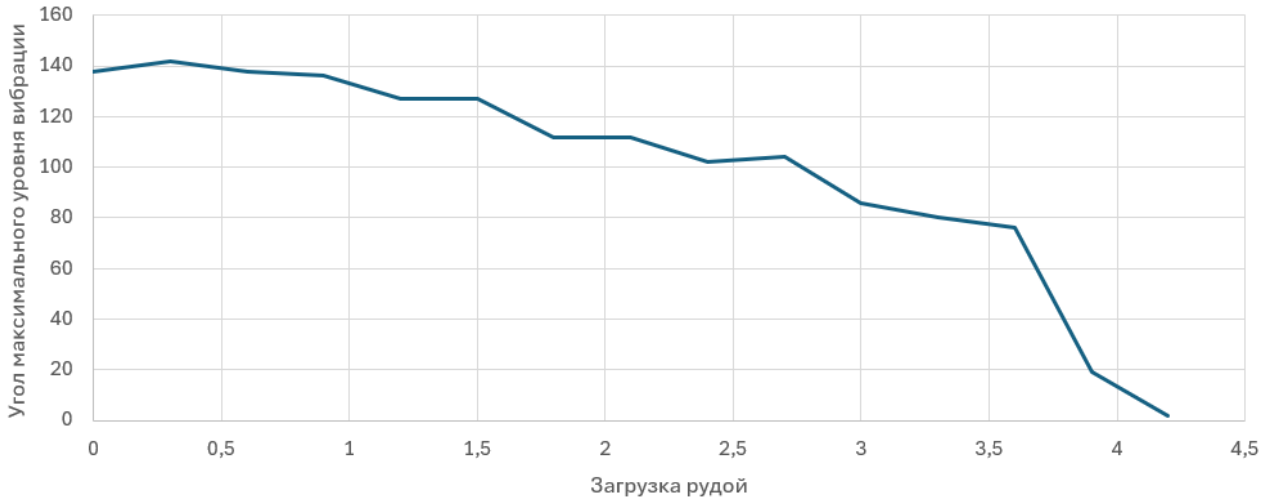


Рис. 3 – График изменения угла максимальной амплитуды сигнала виброускорения относительно рудной загрузки шаровой мельницы

Полученные результаты демонстрируют пороговый характер изменения углового положения максимума вибрации: стабильность при загрузке до 0,9 кг (заполнение пустот) и последующее закономерное смещение.

Выводы:

1. Сигнал виброускорения, регистрируемый на корпусе шаровой мельницы, является чувствительным индикатором степени заполнения рудой. Увеличение загрузки приводит к монотонному снижению амплитуды вследствие демпфирования ударов.
2. Анализ радиальных диаграмм выявил пороговый эффект: в диапазоне 0–0,9 кг руды угол максимума остаётся практически постоянным (~140°), что соответствует заполнению пустот в шаровой массе. Дальнейшее увеличение загрузки вызывает смещение угла в сторону меньших значений, отражая изменение режима движения шаров.
3. Экспериментально определённый угол максимума (140°) при отсутствии руды хорошо согласуется с теоретическим расчётом (150°), подтверждая адекватность используемой модели.
4. Виброакустический мониторинг, включающий оценку как амплитудных, так и угловых характеристик сигнала, представляет собой информативный метод контроля заполнения мельницы и позволяет идентифицировать критические изменения режима её работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Guo K, Zhao Y, Zan Z, Sun J. Development and testing of a wireless rotating triaxial vibration measuring tool holder system for milling process. Measurement. 2020 Oct 15; 163:108034.
2. Villarroel A, Zurita G, Velarde R. Development of a low-cost vibration measurement system for industrial applications. Machines. 2019 Feb 1;7(1):12.
3. Terasaki M, Oohashi Y, Masuyama Y, Sudo T. Design and analysis for noise suppression of DC/DC converter. In2014 IEEE Electrical Design of Advanced Packaging & Systems Symposium (EDAPS) 2014 Dec 14 (pp. 109-112). IEEE.
4. Рентюк В. Влияние выбора компонентов, схемотехнического и конструктивного решения на ЭМС современных DC/DC преобразователей. Сборник «Электромагнитная СовмеСтимоСть в Электронике. 2019:165-79.
5. Полещенко Д.А., Боровинских М.Д, Повышение эффективности работы шаровой мельницы путем совместного использования наблюдателя состояний и экстремального регулятора // Инженерный вестник Дона, 2022, №11, URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7964/.
6. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И., Пожарский Ю.М. О возможности определения уровня загрузки шаровой мельницы в результате нейросетевого анализа спектра сигнала виброускорения ее цапфы // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. №216. С. 38-47.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП БАРАБАННОЙ ПЕЧИ УЧАСТКА СУШКИ МЕЛА АО «РУСЛАЙМ»

Сорокин Н.О., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Халапян С.Ю.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В работе рассматривается барабанная печь (рис.1) участка сушки мела АО Руслайм», предлагаются пути модернизация автоматизированной системы управления печью.

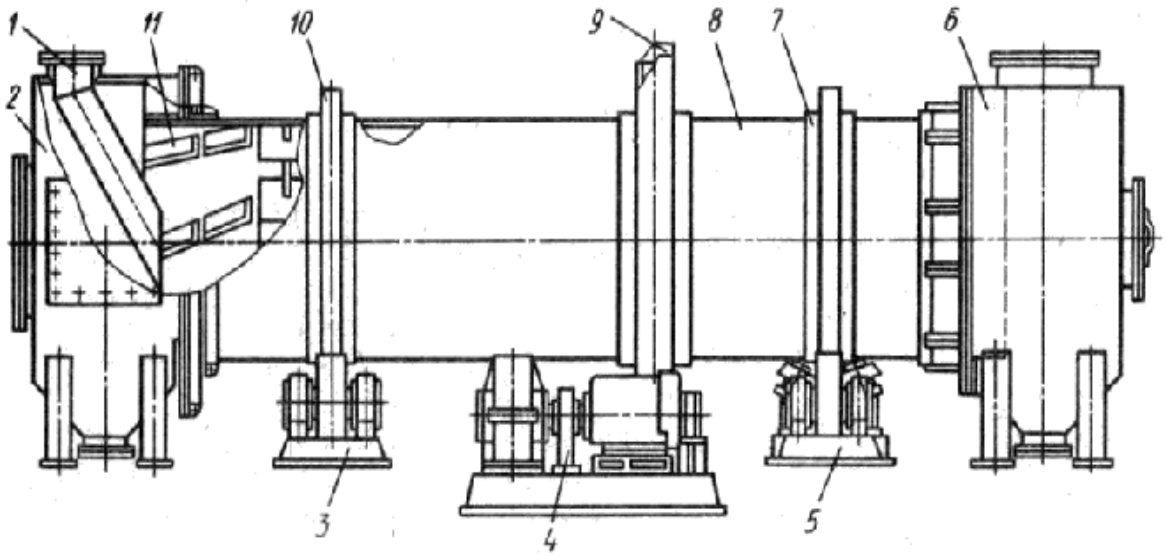


Рис. 1 – Схематичное изображение сушильного барабана

Влажный материал поступает в печь сверху через специальный загрузочный лоток (1), который находится в загрузочной камере (2). Материал попадает в барабан (8), стенки которого имеют направляющие (11), чтобы избежать слеживания материала. Барабан располагается на опорной раме (3) и упорно-опорной раме (5), в центральной части барабана находится зубчатый венец (9), соединенный с валом электродвигателя (4). По длине барабана располагаются бандажи (10) и кольцевые накладки (7), которые выступают направляющими вращения барабана.

Разгрузка готового продукта происходит в зоне разгрузки (6), газовый поток вытягивается дымососами наверх, а готовый материал падает в приемник нижней части зоны разгрузки. На АО «Руслайм» используется барабан длиной 14 метров и диаметром 2,2 метра, который установлен под наклоном 1-4 градуса к горизонту, чтобы обеспечивать перемещение материала при вращении.

Вместе с топкой, установленной с торца барабана – агрегат является вращающейся печью пламенного режима работы для сушки мела. Это означает, что газообразное топливо сгорает в воздушной среде, формируя продукты горения. Дымовые газы протягиваются через вращающийся барабан, соприкасаясь с продуктом и осушая его.

Для соблюдения технологического режима осушения необходимо, чтобы на входе в барабан температура печных газов не превышала 800 °С, а в разгрузочной части была не менее 100 °С, чтобы исключить вторичную конденсацию влаги. Дымовые газы протягиваются через печь дымососом, который создает разрежение в барабане, не превышающее 30 Па.

В результате анализа действующей системы управления был выявлен ряд ее недостатков:

1. Ручной характер управления подачей газа на горения.

2. Ручной характер поддержания соотношения «газ/воздух», что приводит к неэффективному сжиганию газа и образованию избыточной копоти.

3. Устаревшие датчики и ИМ приводят к низкой точности регулирования и повышения стоимости обслуживания парка КИПиА. Датчики на участке не унифицированы по подключению, что также усложняет их обслуживание;

4. Критически важная инфраструктура работает устаревшем ПЛК от Mitsubishi, а не на современном отечественном ПЛК;

5. Регулирование разрежения при помощи шиберной заслонки, когда дымосос работает в номинальном режиме, что приводит к перерасходу электроэнергии.

Таким образом, выявленные недостатки действующей АСУ ТП очевидно приводят к повышению сопутствующих издержек при реализации технологического процесса сушки мела.

Устранить выявленные недостатки можно при помощи модернизации действующей АСУ ТП. Выполним декомпозицию данной задачи на ряд подзадач:

1. Необходимо провести математическое моделирование контуров регулирования температуры в топочной камере и разрежения в рабочей области барабана;

2. Реализовать данные контуры управления в виде конечных алгоритмов для ПЛК;

3. Спроектировать обновление действующего комплекса технических средств, включая: замену программируемого логического контроллера компании Mitsubishi на отечественный ПЛК, устаревших контрольно-измерительных средств основных контуров управления на современные устройства с поддержкой 4-20 мА, ИМ на трубопроводах газа и воздуха на современные исполнительные механизмы с позиционерами.

4. Спроектировать обновления действующей формы визуализации технологического процесса для оператора.

Для улучшения работы барабанной печи предлагается модернизировать контур регулирования температуры в топочной камере, переведя его на каскадную структуру, где подчинённый контур регулирует объёмный расход газа, а сигнал регулятора температуры выступает уставкой для расходного контура.

Математическая модель контура регулирования температурой представлена на рисунке 2.

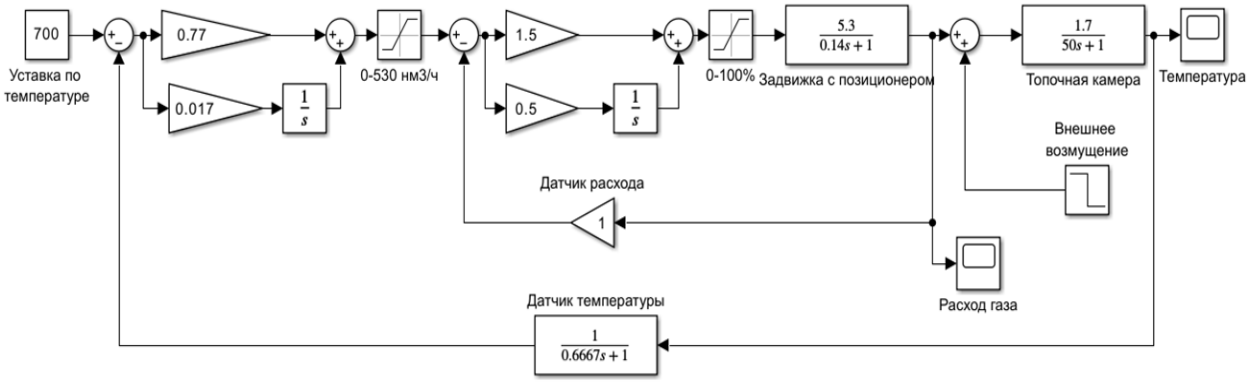


Рис. 2 – Математическая модель контура регулирования температуры

В результате работы схемы получены следующие графики переходного процесса (рис. 3, 4).

Как можно заметить, температура выходит на уставку за 150 минут, что согласуется с технологическим регламентом разогрева печи до рабочей температуры (рис. 3). Контур успешно реагирует на внешнее возмущение, что можно проследить по графику изменения газа (рис.4).

В целом результаты моделирования можно признать удовлетворительными и использовать полученные коэффициенты регулятора при первичной настройке реальной системы.

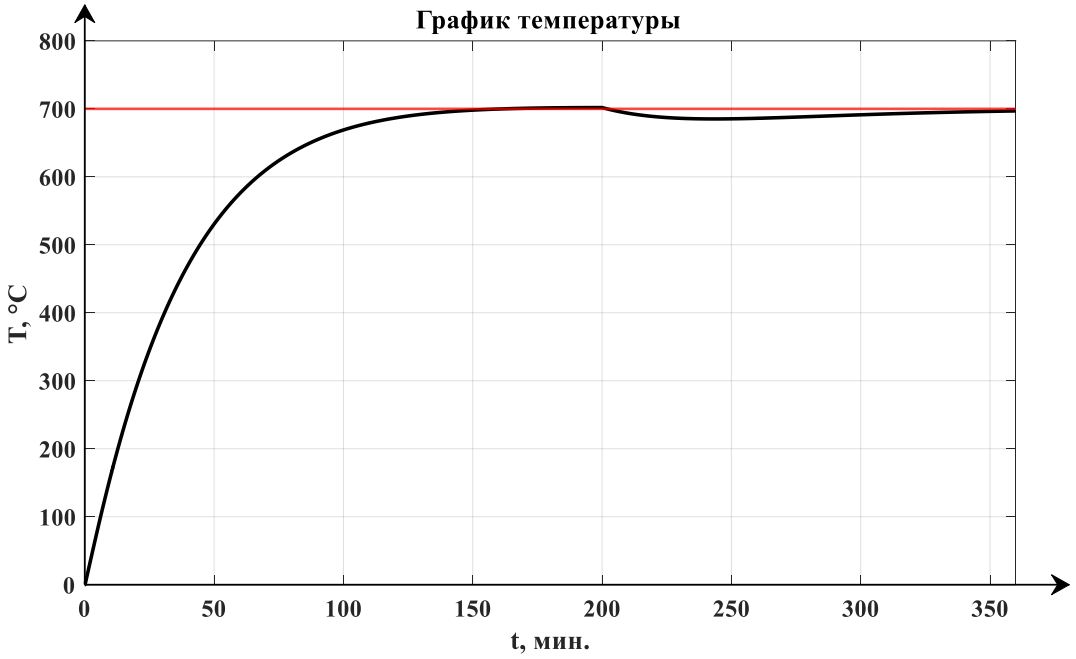


Рис. 3 – График переходного процесса регулирования температуры

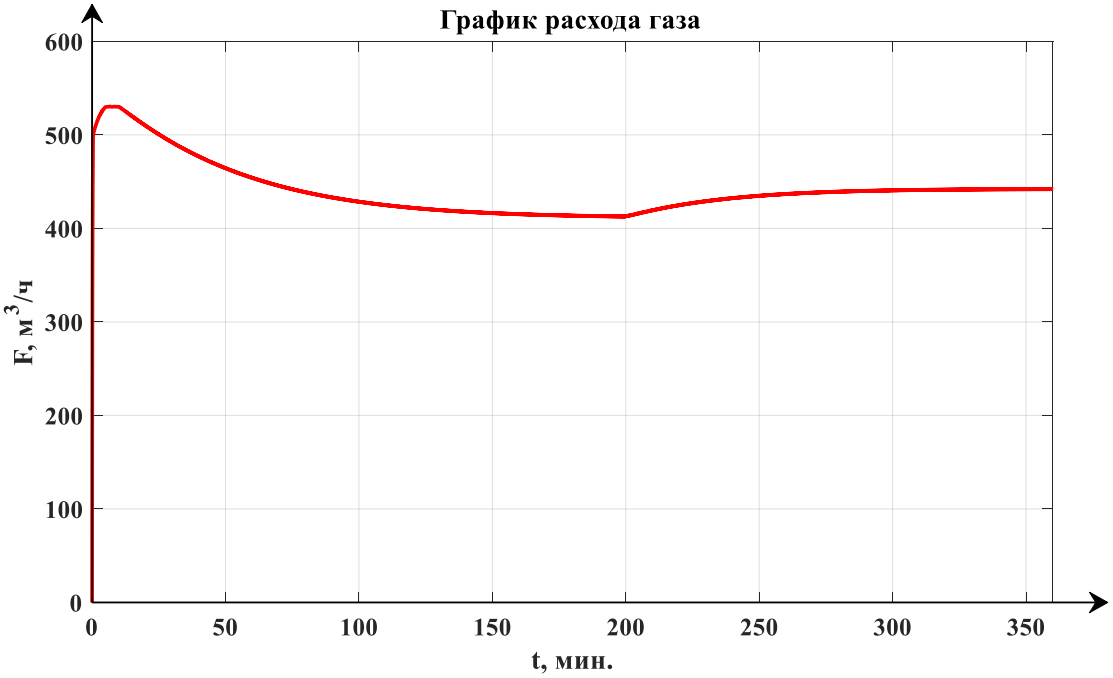


Рис. 4 – График изменения расхода газа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12085-88 Мел природный обогащенный. Технические условия. — Введ. 1990-01-01. — М.: Издательство стандартов, 1988. — 9 с.

2. Средства автоматизации и управления: учебник/ В. Н. Кузнецов, В. А. Кривоносов, В. С. Есилевский. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 356 с.

ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ АЭП ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Старикова Л.В., студент 4 курса
Научный руководитель - к.п.н., доцент **Гамбург К.С.**
Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСИС" (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Ленточный конвейер — это устройство для непрерывной перевозки сыпучих и штучных материалов, основанное на движении прочной ленты, поддерживаемой роликами и приводимой в движение электродвигателем.

Примером масштабного применения конвейерного транспорта может служить АО «Лебединский ГОК». Производительность этого предприятия напрямую зависит от непрерывности технологического процесса, в том числе, от непрерывности работы конвейерного транспорта.

На рисунке 1 представлена схема ленточного конвейера, основные компоненты которой являются: 1 – конвейерная лента, 2 – приводной барабан, 3 – электродвигатель, 4 – редуктор, 5 – верхние роликоопоры, 6 – нижняя роликоопора, 7 – натяжной барабан, 8 – опорная металлоконструкция, 9 – пересыпной короб.

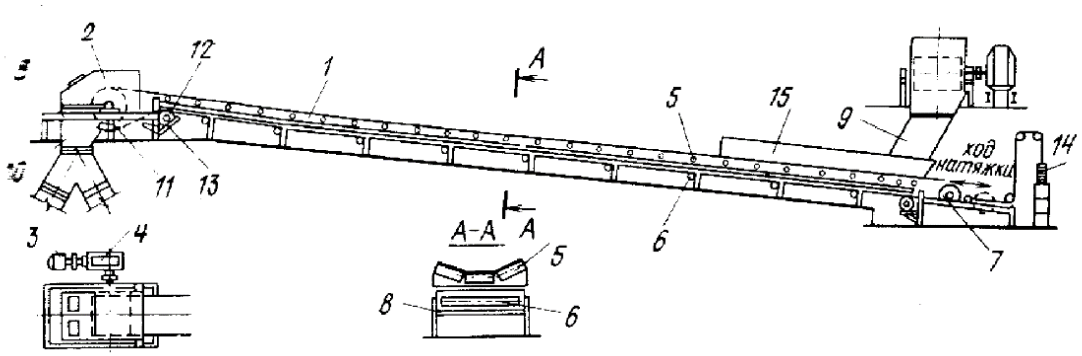


Рис. 1 – Схема ленточного конвейера

Общая горизонтальная длина конвейера составляет 99,6 метров, включающая в себя всю протяженность транспортной трассы, начиная от начальной точки загрузки и заканчивая конечной точкой разгрузки.

Конвейер имеет два участка: один длиной 76,16 метров, угол наклона которого составляет 20 градусов, второй, длиной 23,44 метров. Конвейер расположен на высоте 30 метров.

Произведя расчет мощности электропривода ленточного конвейера по методике [3], был выбран двигатель АИР315М6 [1], соответствующий требуемой мощность 132кВт, частотой вращения 985 об/мин.

Для управления асинхронным двигателем ленточного конвейера необходимо подобрать преобразователь частоты. Выбор ПЧ зависит от следующих параметров: номинальный ток двигателя, мощность и напряжение.

Был выбран преобразователь частоты AD800P-4T132-PU0PCU0P со скалярным управлением [2].

Реализация скалярного управления с законом $\frac{U}{f} = \text{const}$ для ленточного конвейера является распространенным методом, который предлагает ряд преимуществ, связанных с простотой реализации, а также поддержанием постоянного магнитного потока.

Постоянный магнитный поток обеспечивает стабильный крутящий момент на валу двигателя в широком диапазоне скоростей. Для ленточного конвейера, который часто работает

на фиксированной или плавно регулируемой скорости, поддержание стабильного крутящего момента означает равномерное движение ленты без остановок под нагрузкой.

Модель электропривода со скалярной системой управления приведена на рисунке 2.

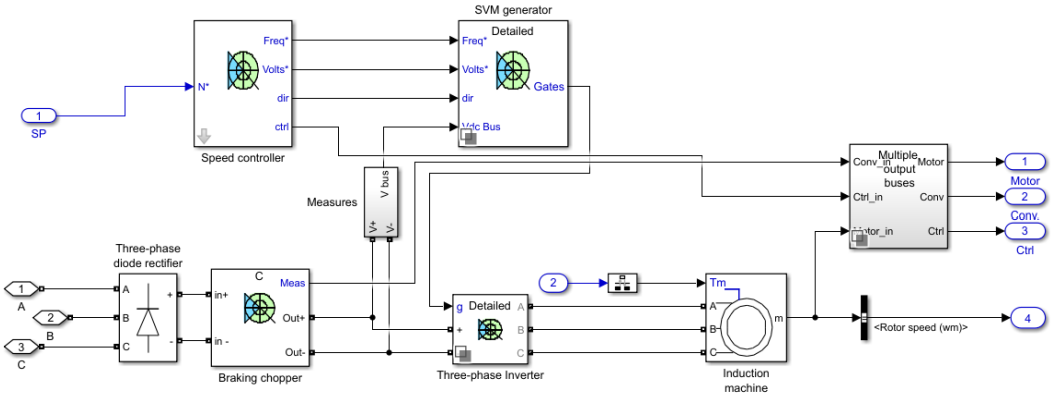


Рис. 2 – Модель скалярного управления

Блок Speed controller (регулятор скорости) сравнивает заданную скорость с фактической скоростью двигателя. Генерирует необходимую частоту (Freq*), напряжение (Volts*) и направление вращения (dir) для АД, чтобы достичь и поддерживать заданную скорость. Данные параметры передаются в генератор SVM.

Блок SVM generator реализует алгоритм пространственно-векторной модуляции. Преобразует скалярные величины (частоту, напряжение, направление) в управляющие сигналы для силовых ключей трехфазного инвертора. SVM generator позволяет более точно формировать синусоидальное напряжение, уменьшая гармонические искажения.

Блок Three-phase diode rectifier (трехфазный диодный выпрямитель) выпрямляет трехфазное переменное напряжение, преобразуя его в постоянное напряжение. Этот блок снижает пульсации, что приводит к стабилизации питании системы.

Блок Braking chopper (тормозной прерыватель) используется для рассеивания избыточной энергии. Когда энергия возвращается обратно в систему, тормозной прерыватель подключает резистор, позволяя энергии рассеиваться в виде тепла.

Блок Three-phase Inverter (трехфазный инвертор) преобразует постоянное напряжение в трехфазное переменное напряжение, подаваемое на АД.

Блок Induction machine (асинхронный двигатель) преобразует электрическую энергию в механическую. При подаче напряжения на обмотки, создающее инвертором, возникает магнитное поле, которое приводит в движение ротор. На выходе двигателя измеряется его скорость вращения, которая затем используется в контуре регулятора скорости.

В результате моделирования системы были построены графики зависимости тока статора, скорости ротора, электромагнитного момента и напряжения от времени, рисунок 3.

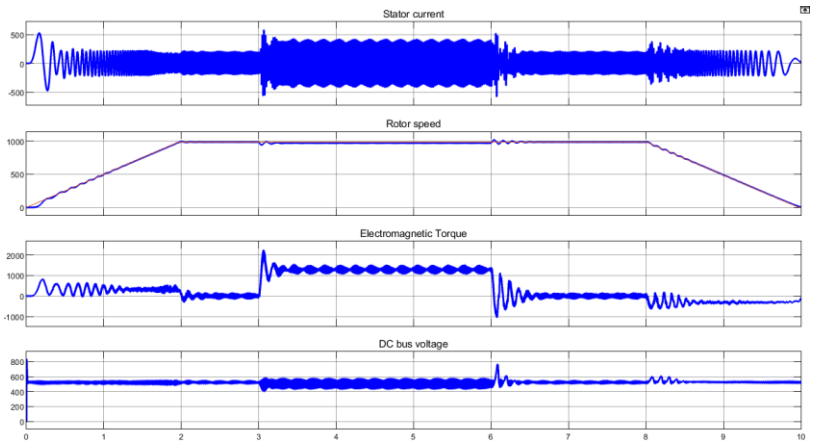


Рис. 3 – Графики зависимости тока статора, скорости ротора, электромагнитного момента и напряжения от времени

На первом графике отображено изменение тока статора во времени. В процессе запуска ток кратковременно возрастает, однако не превышает допустимых пределов. Это свидетельствует о том, что система управления предотвращает перегрузки по току.

Второй график показывает динамику изменения скорости ротора. Электродвигатель АИР315М6 начинает разгонять ленточный конвейер до его номинальной скорости – 1000 об/мин. После достижения номинального значения скорости, конвейер функционирует в течении 6 секунд, после чего начинается плавное торможение скорости. Процесс торможения занимает 2 секунды, по истечению которых конвейер полностью останавливается.

Третий график представляет собой зависимость электромагнитного момента от времени. Во время старта момент резко увеличивается, достигая пиковых значений, необходимых для преодоления инерции и начала движения ленты конвейера. Однако момент остаётся в пределах допустимых значений, что исключает риск опрокидывания двигателя. После стабилизации скорости момент снижается до номинального значения, необходимого для компенсации механических потерь и поддержания движения ленты.

Последний график демонстрирует изменение напряжения. Напряжение поддерживается практически постоянным на уровне около 600 В, что характерно для качественного преобразования энергии. Небольшие колебания наблюдаются только в моменты резких изменений нагрузки, однако они быстро компенсируются системой управления, что гарантирует стабильную работу силовой части преобразователя.

Полученные результаты моделирования показывают, что система скалярного управления двигателем ленточного конвейера функционирует эффективно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт «Электромотор» [Электронный ресурс] – режим доступа – URL: https://nasoselprom.ru (дата обращения 05.02.2026).

2. Официальный сайт «Optimus drive» [Электронный ресурс] – режим доступа – URL: https://optimusdrive.ru (дата обращения 10.02.2026)

3. Расчет мощности привода ленточного конвейера [Электронный ресурс] – режим доступа – URL: https://inner.su/articles/raschet-moshchnosti-privoda-lentochnogo-konveyera-dlya-rudy-formuly-tablitsy-i-onlayn-kalkulyator/?ysclid=mkk6zlmh5n459495013 (дата обращения 18.01.2026)

ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ, ПОЛЯРНЫЕ И НЕПОЛЯРНЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА И ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ

Сурков П.Р., студент 1 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Мякотина М.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Диэлектрики – особый класс электротехнических материалов. Именно их параметры в конечном счёте диктуют, насколько надёжной будет изоляция, какой ёмкостью обладают конденсаторы и как работают устройства нелинейной электроники. Хотя на первый взгляд все диэлектрики похожи, на самом деле они фундаментально различаются по двум независимым признакам. Первый признак связан с молекулярным строением и подразделяет их на полярные и неполярные. Второй признак – характер отклика на внешнее электрическое поле – делит их на линейные и нелинейные. В этой статье мы ставим перед собой цель: объяснить физическую суть каждой классификации, выяснить, как они соотносятся друг с другом, и показать, какие практические последствия вытекают из принадлежности материала к тому или иному типу.

Диэлектрик как класс веществ. Диэлектрик – это вещество, в котором при нормальных условиях практически отсутствуют свободные носители заряда, вследствие чего оно не проводит электрический ток. Главным отличительным свойством диэлектриков является способность к поляризации – упорядоченному смещению связанных (нескользящих) зарядов под действием внешнего электрического поля [1]. Поляризация проявляется в возникновении на поверхности и в объёме диэлектрика связанных (поляризационных) зарядов, которые существенно влияют на распределение поля.

Макроскопической мерой поляризации служит вектор поляризованности P – суммарный дипольный момент единичного объёма вещества. В простейшем случае изотропного диэлектрика его связь с напряжённостью поля E описывается соотношением:

$$P = \varepsilon_0 \cdot \chi \cdot E \quad (1)$$

где $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная, χ – безразмерная диэлектрическая восприимчивость, а относительная диэлектрическая проницаемость определяется как $\varepsilon = 1 + \chi$. В зависимости от того, остаётся ли χ константой или меняется с полем, диэлектрик оказывается линейным или нелинейным. В зависимости от того, есть ли у его молекул собственный дипольный момент, – полярным или неполярным [2].

Неполярные диэлектрики: когда симметрия «молчит». Молекула считается неполярной, если при отсутствии внешнего поля распределение электронной плотности в ней полностью симметрично относительно всех ядер. Иначе говоря, результирующий постоянный дипольный момент такой молекулы тождественно равен нулю – не из-за того, что диполей в принципе нет, а потому что они попарно компенсируют друг друга благодаря геометрической симметрии молекулы.

Одноатомные инертные газы — наиболее чистый пример неполярных веществ: атом сам по себе сферически симметричен. Из газов с двумя и более атомами неполярны те, у кого совпадает ось симметрии молекулы — азот, водород, кислород, углекислый газ, четырёххлористый углерод. Из твёрдых органических полимеров – полиэтилен, политетрафторэтилен (тефлон), полистирол, парафин. Кристаллические вещества с кубической симметрией решётки, например алмаз и кремний, также лишены постоянного дипольного момента [2].

Единственная поляризация, доступная неполярным диэлектрикам, – электронная: поле смещает электронную оболочку относительно ядра, порождая наведённый дипольный момент конкретного атома. Он пропорционален действующему полю:

$$p = \beta \cdot E \quad (2)$$

где β – электронная поляризуемость атома, E - вектор напряжённости электрического поля. Процесс по своей природе упругий и обратимый: стоит убрать поле – момент исчезает. Скорость установления – порядка 10^{-15}–10^{-16} с, что соответствует ультрафиолетовой части спектра, поэтому неполярные диэлектрики сохраняют свои характеристики вплоть до оптических частот. Диэлектрическая проницаемость у них, как правило, невысока: ε = 1,5–3, практически не зависит ни от температуры, ни от частоты в широком диапазоне [3].

Полярные диэлектрики: «встроенный» диполь. Молекула называется полярной, если асимметричное расположение атомов различной электроотрицательности приводит к несовпадению «центров масс» положительного и отрицательного заряда даже в отсутствие поля. Это несовпадение количественно выражается постоянным дипольным моментом p_0, который является неотъемлемой характеристикой данного вида молекул. Например, у воды H_2O $p_0 = 6{,}17 \cdot 10^{-30}$ Кл·м, у хлороводорода HCl – $3{,}4 \cdot 10^{-30}$ Кл·м.

Помимо воды и HCl, к полярным относятся: аммиак NH_3, фтороводород HF, сернистый ангидрид SO_2, хлороформ $CHCl_3$, нитробензол $C_6H_5NO_2$, спирты, многие органические растворители [3]. Жидкий нитробензол, обладая очень большим дипольным моментом ($13{,}1 \cdot 10^{-30}$ Кл·м), достигает ε ≈ 35 при комнатной температуре – в двадцать раз выше, чем у неполярных углеводородов.

В реальном образце при T > 0 молекулы непрерывно вращаются из-за теплового движения, поэтому в отсутствие поля диполи ориентированы случайно и суммарная поляризованность обращается в нуль. Приложенное поле стремится выстроить диполи вдоль своего направления, тогда как тепловое движение этому сопротивляется. Достигаемый баланс описывается формулой Ланжевена–Дебая: при умеренных полях средняя проекция p_0 на направление поля оказывается пропорциональной отношению E/T, где T – абсолютная температура [4]. Отсюда вытекает характерная особенность полярных диэлектриков: их ε заметно убывает при нагреве, тогда как у неполярных эта зависимость пренебрежимо мала.

Время установления ориентационной поляризации – от 10^{-10} до 10^{-6} с – на несколько порядков больше, чем у электронной. Именно поэтому при повышении частоты внешнего поля сверх нескольких гигагерц диполи перестают «успевать» следовать за полем, вклад ориентационной поляризации резко падает и наблюдается полоса дипольного поглощения. Интересно, что этом принципе основана работа микроволновых печей: молекулы воды (полярный диэлектрик) интенсивно поглощают излучение с частотой 2,45 ГГц и нагреваются [4].

Линейные диэлектрики: пропорциональность как закон. Если восприимчивость χ не зависит от величины поля E, то вещество является линейным диэлектриком. Физически это означает: отклик среды строго пропорционален воздействию, а принцип суперпозиции выполняется в полной мере – реакция на несколько одновременных полей равна сумме реакций на каждое из них в отдельности [5]. Уравнение поляризованности при этом остаётся линейным:

$$P = \varepsilon_0 \cdot \chi \cdot E \tag{3}$$

Линейность – правило, а не исключение: ей подчиняется подавляющее большинство конструкционных диэлектриков. Стекло имеет ε от 4 до 10 в зависимости от состава, слюда – 6–9, фарфор – около 6–7, кварц – 3,8. Из полимеров: полиэтилен (ε ≈ 2,3), тефлон (ε ≈ 2,0), поликарбонат (ε ≈ 3,0). Важно отметить, что линейность не исключает полярности: вода при умеренных полях ведёт себя как линейный диэлектрик (хотя с очень высоким ε ≈ 80), просто χ у неё определяется ориентационным механизмом и зависит от температуры, но не от самого поля [5].

В линейных диэлектриках отсутствуют необратимые потери энергии, связанные с перестройкой структуры под действием поля. Именно это делает их незаменимыми в высокочастотных устройствах и системах хранения энергии, где требуется стабильная и воспроизводимая ёмкость.

Нелинейные диэлектрики: когда ε зависит от поля. Нелинейными называют диэлектрики, у которых восприимчивость χ – а значит, и диэлектрическая проницаемость ε – изменяется при изменении напряжённости поля. В формальном разложении P по степеням E появляются члены второго и более высоких порядков:

$$P = \varepsilon_0(\chi^{(1)}E + \chi^{(2)}E^2 + \chi^{(3)}E^3 + \dots) \quad (4)$$

Здесь $\chi^{(1)}$ – линейная восприимчивость, $\chi^{(2)}$ и $\chi^{(3)}$ – нелинейные восприимчивости второго и третьего порядков. При слабых полях нелинейными членами можно пренебречь: любой диэлектрик в достаточно слабом поле ведёт себя линейно. При больших напряжённостях или в кристаллах, лишённых центра инверсии, нелинейные вклады становятся ощутимыми [5].

Важнейший подкласс нелинейных диэлектриков – сегнетоэлектрики. Их отличительная черта: ниже температуры Кюри Тк кристалл обладает спонтанной поляризацией даже без внешнего поля, причём кристалл разбивается на домены – области с одинаково ориентированными диполями. В отличие от полярных молекулярных диэлектриков, где каждый диполь – это отдельная молекула, в сегнетоэлектрике дипольный момент возникает коллективным образом: сотни тысяч элементарных ячеек кристаллической решётки ориентированы согласованно. При нагреве выше Тк эта кооперация разрушается, спонтанная поляризация исчезает, и вещество переходит в параэлектрическую фазу с симметричной структурой [6].

Характерная зависимость P(E) у сегнетоэлектрика нелинейна и необратима: при циклическом изменении поля она описывает замкнутую петлю гистерезиса, ширина которой определяется коэрцитивным полем Ек. Диэлектрическая проницаемость у сегнетоэлектриков аномально велика – от 10^3 до 10^5 вблизи точки Кюри – и резко меняется как с температурой, так и с полем. Представители: сегнетова соль $NaKC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$ (Тк = 23 °C и −18 °C), титанат бария $BaTiO_3$ (Тк = 120 °C), ниобат лития $LiNbO_3$ (Тк = 1210 °C), цирконат-титанат свинца PZT [6].

Антисегнетоэлектрики образуют смежную группу: в них соседние диполи ориентированы антипараллельно, и спонтанная поляризация скомпенсирована. При достижении критического поля вещество претерпевает фазовый переход в сегнетоэлектрическое состояние. На кривой P(E) это выражается в характерной двойной петле. Примеры: цирконат свинца $PbZrO_3$, ниобат натрия $NaNbO_3$.

Сравнительный анализ типов диэлектриков. Для наглядного соотнесения всех рассмотренных классов в таблице 1 сведены ключевые параметры каждого типа.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика основных типов диэлектриков

Признак	Неполярный линейный	Полярный линейный	Сегнето-электрик	Анти-сегнетоэлектрик
Собственный дипольный момент молекулы	Отсутствует	Имеется	Имеется (домены)	Компенсирован
Спонтанная поляризация	Нет	Нет	Есть (T < Тк)	Нет (при E = 0)
Зависимость ε от E	Не зависит	Не зависит	Сильно зависит	Нелинейна
Типичное значение ε	1,5–3	3–80	10^3–10^5	~200–1000
Примеры	Полиэтилен, тефлон, He	Вода, HCl, NH_3	$BaTiO_3$, PZT, $LiNbO_3$	$PbZrO_3$, $NaNbO_3$
Гистерезис P(E)	Нет	Нет	Выраженный	Двойной

Из таблицы можно понять, что деление «полярный / неполярный» и «линейный / нелинейный» – это два независимых признака, которые комбинируются между собой. Неполярный диэлектрик всегда линеен в нормальных рабочих полях (поскольку электронная поляризация пропорциональна полю по своей природе). Полярный диэлектрик при умеренных полях линеен, но при очень сильных может насыщаться. Сегнетоэлектрик же нелинеен

принципиально, даже при малейшем отклонении от нуля поля – из-за кооперативной природы спонтанной поляризации.

Прикладное значение классификации. Знание принадлежности диэлектрика к конкретному типу напрямую определяет область его применения. Неполярные линейные диэлектрики (тефлон, полиэтилен, полистирол) являются идеальными изоляторами для кабельной техники и СВЧ-диапазона благодаря минимальным диэлектрическим потерям ($tg\delta < 10^{-4}$) и нечувствительности ε к частоте [6].

Полярные линейные диэлектрики с высоким ε (поликарбонат, нитрил, фторопласт-4) используются для изготовления плёночных конденсаторов с малыми габаритами. Вода с её рекордным $\varepsilon \approx 80$ применяется в качестве рабочего тела в импульсных генераторах высоковольтных разрядов.

Нелинейные сегнетоэлектрики находят применение в нескольких принципиально различных направлениях. В пьезотехнике на основе PZT изготавливают ультразвуковые преобразователи, пьезоэлектрические двигатели и датчики давления. В нелинейной оптике кристаллы $LiNbO_3$ используются для генерации второй гармоники лазерного излучения, создания электрооптических модуляторов и параметрических генераторов. В микроэлектронике тонкоплёночные сегнетоэлектрики обеспечивают работу энергонезависимой памяти FeRAM, где бит информации хранится в виде направления остаточной поляризации домена. Антисегнетоэлектрики перспективны для высокоёмких конденсаторов импульсной техники из-за характерного скачка P при переходе в сегнетоэлектрическую фазу.

Важно понимать: классификация диэлектриков по двум признакам — наличию молекулярного диполя и виду зависимости поляризации от поля — даёт два пересекающихся, но независимых основания для разделения материалов. В случае неполярных диэлектриков собственный дипольный момент отсутствует, и единственным механизмом поляризации выступает деформация электронных оболочек. Как следствие — их свойства практически не меняются при изменении температуры и частоты. Полярные диэлектрики, имея «встроенный» диполь, ориентируют его во внешнем поле; это резко повышает диэлектрическую проницаемость ε, но одновременно вносит сильную температурно-частотную зависимость. Линейность подразумевает постоянство восприимчивости χ и выполнение принципа суперпозиции — так ведёт себя большинство традиционных изоляторов. Нелинейность же характерна для сегнетоэлектриков с их кооперативными доменными процессами, гистерезисом и аномальным скачком ε вблизи точки Кюри. Именно последний класс материалов — нелинейные диэлектрики — представляет наибольший интерес для разработки принципиально новых функциональных систем, начиная от элементов памяти и заканчивая устройствами квантовой фотоники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калашников С.Г. Электричество. – М.: Наука, 2003. – 624 с.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 3: Электричество. – М.: Наука, 2004. – 656 с.
3. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.
4. Иоффе А.Ф. Физика полупроводников. – М.: АН СССР, 1957. – 491 с.
5. Смоленский Г.А., Крайник Н.Н. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. – Л.: Наука, 1968. – 216 с.
6. Желудев И.С. Физика кристаллических диэлектриков. – М.: Наука, 1968. – 464 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП ДЕШЛАМАТОРА 9-ОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК»

Сычева К.С., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Халапян С.Ю.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Лебединский ГОК – одна из крупнейших горнодобывающих компаний России: темпы ежегодной добычи железистых кварцитов превышают 50 млн. т. Размеры открытого карьера достигают 5 км в длину, 3 км в ширину, а глубина находится на отметке около 350 м.

На участке обогащения № 2 обогатительной фабрики установлена технологическая секция № 9, главной задачей которой является переработка избытка гали и скрапа (продукта измельчения гали), поступающих из участков обогащения 1 и 2. В состав секции входят две мельницы шарового рудно-галечного измельчения МШРГУ 45×60. Обогащение осуществляется на магнитных сепараторах и магнитных дешламаторах.

Удаление пустой породы или шлама, что происходит в магнитных дешламаторах. Пульпа проходит через верхнюю область дешламатора, где расположены магниты постоянного действа, называемые магнитные балки. При прохождении верхней части чана дешламатора частицы магнетита за счет действия магнитного поля слипаются друг с другом. Слипшиеся частицы называют флоккулами, они под действием силы тяжести оседают в придонной области дешламатора. Частицы шлама вымываются за счет сил противотока и уходят в хвосты, а полезные горные частицы через разгрузку выводятся в зумпф насосов. Этими насосами пульпа перекачивается на третью стадию магнитной сепарации, где производится окончательное обогащение концентрата.

Общий вид дешламатора и его составляющих изображен на рисунке 1.

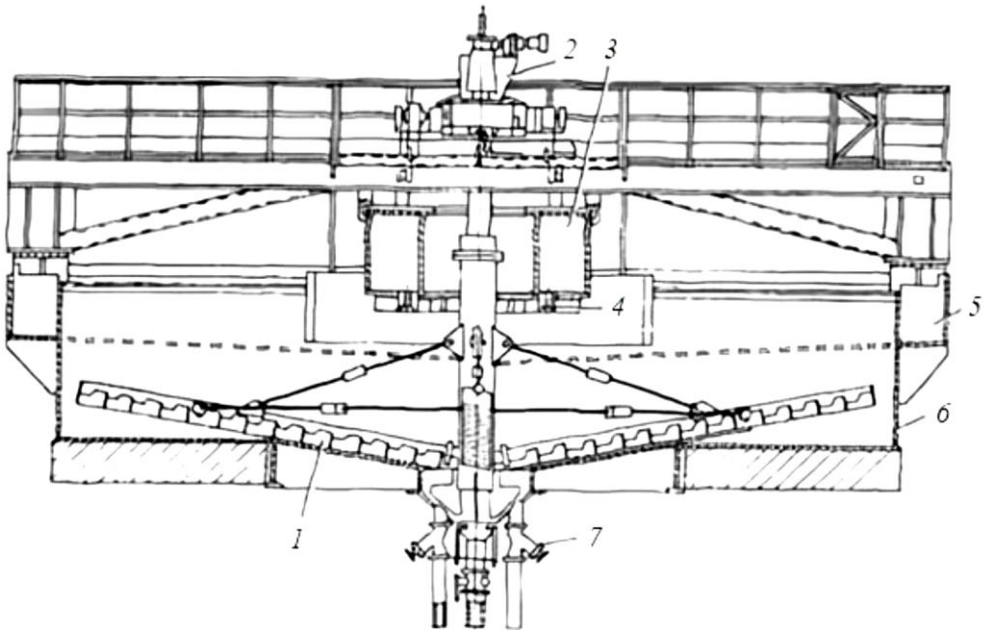


Рис. 1 – Общий вид дешламатора

На рисунке 1 следующими цифрами обозначены: 1 – граблины; 2 – привод; 3 – загрузочный бак; 4 – намагничивающие балки; 5 – сливной желоб; 6 – резервуар; 7 – разгрузочное устройство.

Существующая АСУ ТП осуществляет управление уровнем магнетита в дешламаторе, уровнем перелива воды со шламом и уровнем пульпы в зумпфе. Информация по контурам регулирования приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Контуры регулирования АСУ ТП

Наименование контура	Входные параметры	Задаваемые параметры	Описание
Уровень перелива	Аналоговые: – положение исполнительного механизма задвижки добавочной воды в чан дешламатора; – уровень перелива	Уставки: – положение задвижки; – уровень перелива	Регулирование уровня перелива в дешламаторах производится путем изменения количества подаваемой воды в чан дешламатора, посредством выдачи управляющего воздействия импульсного регулятора на электропривод исполнительного механизма.
Уровень магнетита	Аналоговые: – положение исполнительного механизма устройства разгрузки; – уровень магнетита	Уставки: – положение устройства разгрузки; – уровень магнетита	Регулирование уровня магнетита в дешламаторе производится путем изменения количества пульпы, проходящей через устройство разгрузки дешламатора, посредством выдачи управляющего воздействия импульсного регулятора на электропривод исполнительного механизма.
Уровень пульпы в зумпфе	Аналоговые: – положение исполнительного механизма задвижки добавочной воды в зумпф; – уровень пульпы в зумпфе	Уставки: – положение задвижки; – уровень пульпы в зумпфе	Регулирование уровня пульпы в зумпфе производится путем изменения количества подаваемой воды в зумпф, посредством выдачи управляющего воздействия импульсного регулятора на электропривод исполнительного механизма.

В целях модернизации существующей АСУ ТП выполнено математическое моделирование перечисленных контуров регулирования. Структурная схема контура регулирования уровня перелива приведена на рисунке 2.

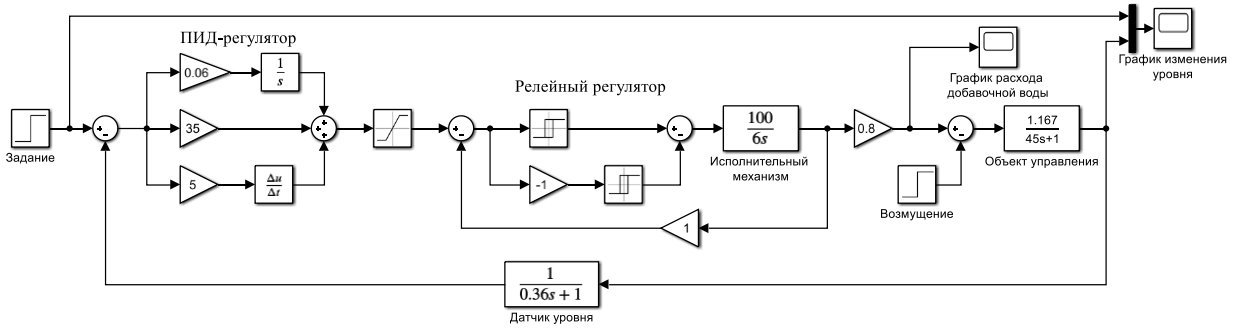


Рис. 2 – Структурная схема контура регулирования уровня перелива

В результате моделирования получен график изменения уровня перелива, изображенный на рисунке 3.

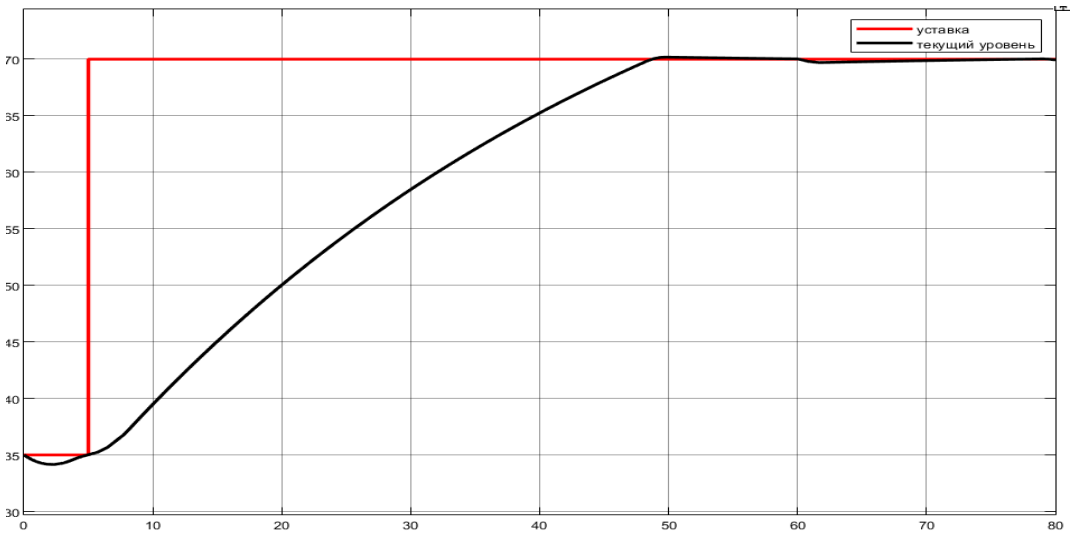


Рис. 3 – Переходной процесс в контуре регулирования уровня перелива

Структурная схема контура регулирования уровня магнетита приведена на рисунке 4.

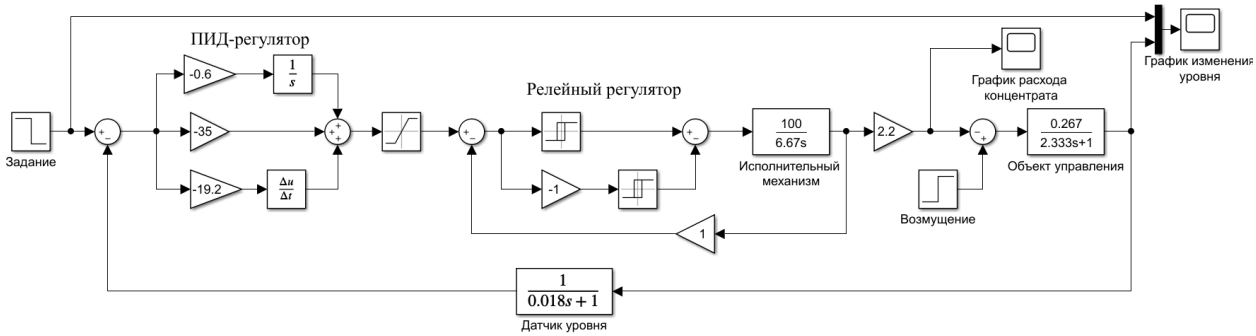


Рис. 4 – Структурная схема контура регулирования уровня магнетита

В результате моделирования получен график изменения уровня магнетита, изображенный на рисунке 5.

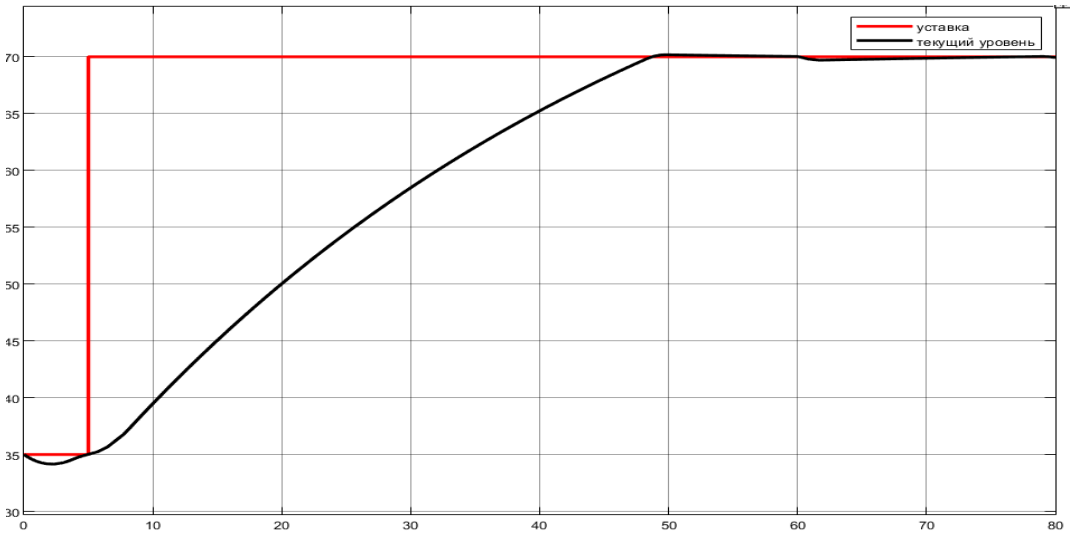


Рис. 5 – Переходной процесс в контуре уровня магнетита

Структурная схема контура регулирования уровня в зумпфе приведена на рисунке 6.

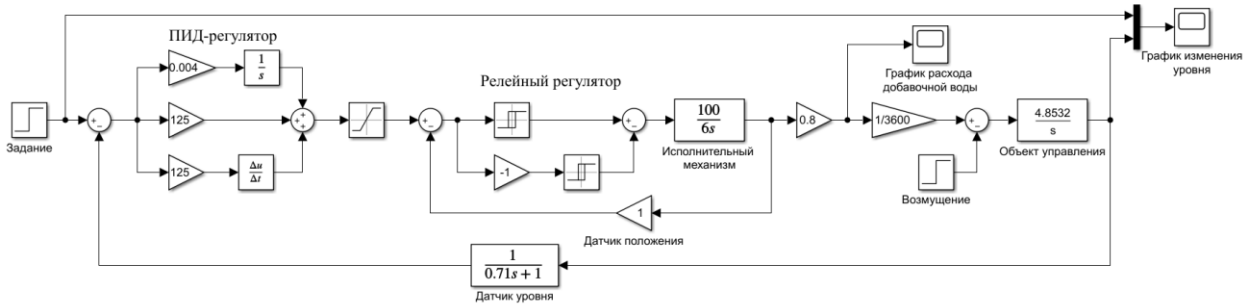


Рис. 6 – Структурная схема контура регулирования уровня пульпы в зумпфе

В результате моделирования получен график изменения уровня пульпы в зумпфе, изображенный на рисунке 7.

Моделирование позволило установить в контурах регулирования параметры регуляторов, обеспечивающие выход в установившийся режим, соответствующий заданию, быстро и без перерегулирования. Поданные на 60-й секунде возмущающие воздействия успешно отрабатываются каждым из контуров, регулируемая величина возвращается при этом на заданный уровень.

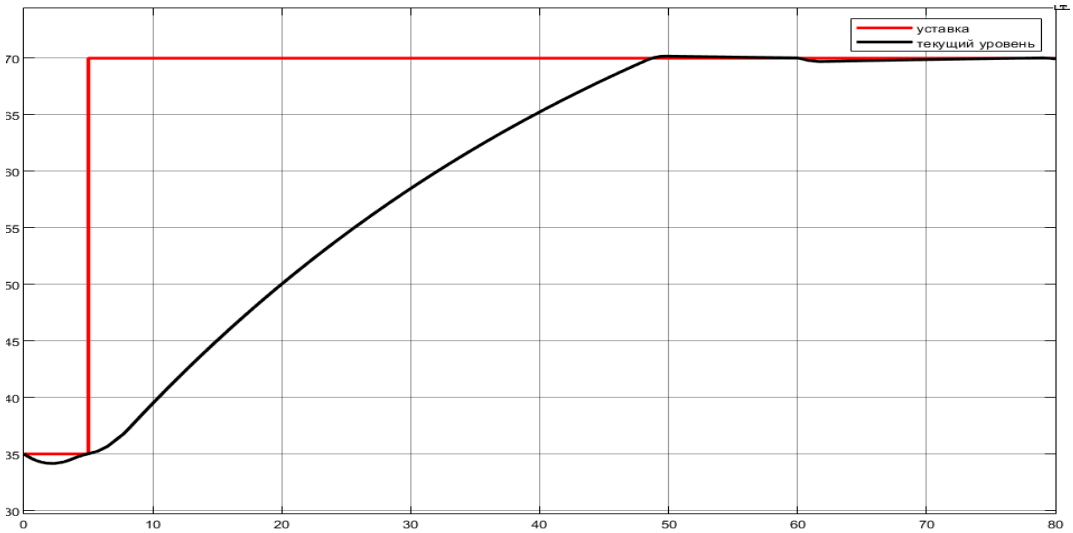


Рис. 7 – Переходной процесс в контуре уровня пульпы в зумпфе

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструкции радиальных сгустителей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://studopedia.ru/3_65437_konstruktsii-radialnih-sgustiteley.html

2. Кибирев В. И. Хвостохранилища. – СПб.: «Механобр инжиниринг», 2022. 312 с.

3. Майоров Д. С., Фомичев Е. С., Дамаскин А. А. Моделирование флокуляции твердых частиц методом CFD-PBM // Цветные металлы и минералы: сб. докладов XI Международного конгресса. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2019. С. 63–71.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ И ИНСАЙДЕРСКИХ УГРОЗ В БАЗАХ ДАННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Таратынов М.А., студент 1 курса
Научный руководитель- к.п.н., доцент **Симонова А.Г.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Современные образовательные учреждения (вузы, колледжи) представляют собой сложные распределенные системы.

По данным статистики кибератак за последние 2-3 года, образовательный сектор вошел в число самых атакуемых, уступая только здравоохранению, госсектору и военной отрасли. Причина - парадокс «открытости»: сеть должна быть доступна тысячам студентов извне (общежития, домашние подключения), но при этом критически важные БД должны быть надежно изолированы.

Традиционные системы обнаружения вторжений (IDS), такие как Snort или Suricata, работают на основе сигнатур. Они эффективны против известных атак, но бесполезны против модифицированных атак, инсайдерских угроз, медленных атак.

Следовательно, необходим анализ не только сетевых пакетов, но и семантики запросов к самой базе данных (DAI - Database Activity Monitoring), усиленный методами машинного обучения для поиска аномалий.

Фундаментом для создания модели служит всестороннее исследование угроз информационной безопасности. Мы выделяем три основных вектора атак на Базы Данных вуза:

1. Внешний злоумышленник (Хактивист/Мошенник):

- цель: дефейс сайта, кража базы для последующей продажи или шантажа;
- метод: SQL-инъекции через веб-формы (поиск, авторизация), подбор паролей к учетным записям сотрудников (Brute-force).

2. Внутренний нарушитель (Студент):

- цель: повышение успеваемости (изменение оценки), попытка доступа к экзаменационным билетам;
- метод: использование уязвимостей в локальных приложениях, подглядывание паролей.

3. Внутренний нарушитель (Сотрудник/Инсайдер):

- цель: финансовая выгода (продажа данных) или любопытство;
- метод: легитимный доступ, но в нерабочее время, к нехарактерным для должности данным (например, бухгалтер смотрит оценки студентов).

В качестве источника данных для ML-моделей выступают логи СУБД, обслуживающей как портал Moodle, так и базу данных 1С: Учебное заведение (или 1С: ЗУП/Бухгалтерия). Логи собираются на уровне СУБД (например, PostgreSQL), что позволяет видеть весь трафик, включая внутренние запросы, генерируемые платформой 1С.

Для эксперимента мы взяли обезличенные логи работы базы данных поддержки учебного процесса за период 6 месяцев. Логи включают смешанную нагрузку:

1. Работа с порталом Moodle (активность студентов и преподавателей: просмотр курсов, загрузка материалов, тестирование).
2. Работа с системой 1С (действия сотрудников: начисление стипендий, зачисление студентов, формирование отчетов, выгрузка ведомостей).

Общий объем записей - 5 млн строк. Атаки симулировались на тестовом полигоне с использованием копий реальных баз Moodle и 1С, после чего векторы атак внедрялись в чистый лог для создания сбалансированной выборки.

Для обучения моделей каждый SQL-запрос был преобразован в вектор признаков. Учитывая специфику запросов от 1С, мы добавили несколько дополнительных параметров:

Лексические признаки:

- длина запроса, количество пробелов, количество спецсимволов (`, ;, --, /*);
- наличие ключевых слов-индикаторов атак: UNION, SLEEP, INTO OUTFILE, pg_sleep (для PostgreSQL);
- специфика 1С: Наличие обращений к системным таблицам 1С, количество задействованных служебных таблиц в одном запросе.

Статистические признаки:

- частота запросов от конкретного IP-адреса в минуту;
- количество уникальных таблиц (как пользовательских, так и системных) в запросе;
- кардинальность запроса: оценка количества уникальных значений, которые затрагивает запрос (актуально для 1С, где одно действие в интерфейсе может породить десятки служебных запросов);
- контекстные признаки (временные ряды): время суток (учебные/рабочие часы 9:00-17:00 — норма, массовая выгрузка данных в 3:00 ночи — подозрительно); день недели (рабочий/выходной);
- семантическая связность: совпадает ли тип запроса с ожидаемой активностью пользователя (например, бухгалтер из 1С массово читает таблицы оценок из Moodle — аномалия).

Метрики объема:

- примерное количество строк, которое вернет запрос (если можно оценить по структуре запроса или по статистике таблицы);
- объем передаваемых данных (в байтах) при выполнении запроса.

Суть первого подхода: Модель обучается на размеченных данных. Мы разметили 1 млн записей: "Норма" (обычная работа студента в Moodle и сотрудника в 1С) и "Атака" (SQL-инъекции, попытки брутфорса, нестандартные запросы к конфиденциальным таблицам 1С).

Цель: Научиться мгновенно распознавать известные паттерны атак, включая типовые векторы атак на платформу 1С (например, попытки выполнения произвольного кода через уязвимости в веб-расширениях 1С).

Суть второго подхода: Модель не знает, что такое "атака". Она строит профиль "нормального" поведения на основе всех признаков, учитывая специфику как Moodle, так и 1С. Все, что сильно выбивается из этого профиля (аномалии), помечается как подозрительное.

Цель: Обнаружение новых типов атак, которых не было в обучающей выборке. Например: **н**естандартное использование легитимных функций 1С для выгрузки данных (инсайдер); **м**едленные атаки, имитирующие работу реального сотрудника бухгалтерии.

Суть третьего подхода: Комбинация двух этапов, ориентированная на анализ сложных последовательностей запросов, характерных для работы в 1С (где одна операция пользователя порождает каскад SQL-запросов).

Цель: Совместить мощь контекстного анализа последовательностей (LSTM) для выявления аномалий в длинных сессиях (например, в 1С) с точностью классификации (XGBoost) для отсева ложных срабатываний.

Random Forest (Подход 1): показал практически идеальный результат. Точность (Precision) и полнота (Recall) > 0.99. Модель быстро обучается и мгновенно классифицирует запрос. Минус — требует постоянного обновления разметки при появлении новых типов инъекций.

Isolation Forest (Подход 2): справился хуже. Некоторые простые инъекции, замаскированные под длинные текстовые запросы, он посчитал "нормой", если они не сильно нарушали статистические профили.

Гибридный подход (Подход 3): тоже сработал отлично, но оказался избыточным. "Стрельба из пушки по воробьям".

Мы смоделировали ситуацию: легитимный сотрудник деканата (IP внутренний, время 14:00) делает запрос не на получение списка группы из 30 человек, а на выгрузку всей таблицы студентов (10 000 записей).

Сводные результаты эксперимента по всем типам угроз представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение эффективности подходов машинного обучения

Метрика / Подход	Подход 1: Random Forest	Подход 2: Isolation Forest	Подход 3: Гибрид (LSTM+XGB)
Detection Rate (SQL-инъекции)	99.5%	82%	99%
Detection Rate (Инсайдер/Аномалия)	5% (провал)	91%	97%
False Positive Rate (Ложные срабатывания)	0.5%	8% (высокий)	1.5%
Скорость предсказания (мс/запрос)	< 1 мс	< 1 мс	~50 мс (из-за LSTM)
Требования к ресурсам CPU/RAM	Низкие	Средние	Высокие (GPU желателен)

Главный вывод: не существует одного идеального метода.

RF идеален для защитного периметра на входе — быстрая блокировка очевидных атак.

Isolation Forest хорош как "сигнализатор" подозрительной активности, но завалит администратора ложными тревогами (8% - это много, представьте, 8 из 100 нормальных действий блокируются).

Гибрид показал себя наилучшим образом в балансе между обнаружением нового и минимизацией ошибок, но он слишком медленный для анализа *каждого* запроса в реальном времени.

В ходе исследования было проведено сравнение трех принципиально разных подходов к применению машинного обучения для защиты баз данных образовательных учреждений. Доказано, что наиболее перспективным является использование гибридных и ансамблевых решений, комбинирующих методы обучения с учителем и без учителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидоров, С. В. Анализ уязвимостей и защита платформы 1С:Предприятие в корпоративных сетях / С. В. Сидоров, А. В. Кузьмин // Системы высокой доступности. -- 2022. -- № 4. -- С. 40--47.

2. Фирсов, А. П. Применение машинного обучения для мониторинга активности баз данных в условиях образовательной деятельности / А. П. Фирсов, Д. С. Романенко // Прикладная информатика. -- 2023. -- Т. 18, № 3. -- С. 64--76.

3. Шульгин, Д. Е. Анализ подходов к обнаружению аномалий в поведении пользователей корпоративных информационных систем / Д. Е. Шульгин, А. С. Масленников // Информационная безопасность регионов. -- 2022. -- № 1. -- С. 47--54.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ УСТАНОВКОЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ IT-ОБОРУДОВАНИЯ

Ткаченко А.В., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н, доцент **Халапян С.Ю.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

В условиях стремительного развития информационных технологий и роста требований к надежности вычислительной техники особую значимость приобретает этап испытаний оборудования перед вводом в эксплуатацию. Серверные системы, системы хранения данных и телекоммуникационное оборудование функционируют в условиях повышенных нагрузок и разнообразных климатических воздействий, что требует проведения комплексных испытаний.

ГОСТ [1] определяет 5 групп средств вычислительной техники (СВТ) по стойкости к воздействию климатических факторов при эксплуатации (табл. 1).

Таблица 1 – Группы СВТ по стойкости к воздействию климатических факторов

Наименование воздействующего климатического фактора	Номер группы СВТ				
	1	2	3	4	5
Температура окружающего воздуха, °С:					
- рабочая;	От 15 до 32	От 10 до 35		От 5 до 45	От -50 до +50
- предельная	-	-	-	-	От -60 до +60
Относительная влажность окружающего воздуха, %	От 40 до 80 при 25 °С	От 40 до 80 при 25 °С	От 40 до 85 при 30 °С	До 90 при 35 °С	До 95 при 35 °С
Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	От 84 до 107 (от 630 до 800)				

Климатические испытания являются ключевым этапом обеспечения надежности IT-оборудования. Они учитывают комплексное воздействие температуры и влажности, что позволяет моделировать реальные условия эксплуатации.

Температурные воздействия позволяют выявить дефекты, связанные с перегревом и нарушением теплоотвода. Влажность, в свою очередь, влияет на электрические и механические характеристики оборудования.

Повышенная влажность может вызывать конденсацию и коррозию, а пониженная — накопление статического электричества. Игнорирование данного параметра снижает достоверность испытаний.

Объектом управления в данной работе является климатическая испытательная камера, предназначенная для проведения климатических испытаний IT-оборудования (температура и влажность). Система управления данной установкой реализована на базе автоматизированной системы управления технологическим процессом, включающей программируемый логический контроллер, датчики, исполнительные механизмы и SCADA-систему.

Целью статьи является анализ существующей системы управления климатической камерой, выявление недостатков, а также разработка предложений по ее совершенствованию.

Объект управления представляет собой климатическую камеру, предназначенную для проведения испытаний IT-оборудования в диапазоне температур от 0 до +70 °C с возможностью расширения диапазона в отдельных режимах.

Основными задачами установки являются:

- проведение стресс-тестов (burn-in);
- проверка надежности оборудования;
- валидация новых конфигураций;
- оценка эффективности систем охлаждения;
- проведение приёмочных испытаний.

С точки зрения теории управления, объект является многоконтурной системой со следующими контролируемыми параметрами:

- температура воздуха (осуществляется регулирование, имеются контур нагрева и контур охлаждения);
- температура тестируемого оборудования (DUT);
- скорость воздушного потока;
- относительная влажность воздуха.

Управление осуществляется посредством PLC с визуализацией в SCADA-системе, где оператор задаёт профили испытаний.

Существующая система обладает следующими преимуществами:

- высокая степень автоматизации;
- возможность задания сложных температурных профилей;
- наличие противоаварийной защиты.

Несмотря на это, выявлен недостаток – **отсутствие активного управления влажностью воздуха**, существенно ограничивающий возможности испытательной камеры.

Внедрение подсистемы регулирования влажности позволит реализовать в ходе испытаний поддержание или изменение влажности, соответствующее реальным условиям эксплуатации (предполагается разработка климатических профилей под различные регионы), воспроизводить комплексные климатические условия, включающих совместное воздействие температуры и влажности.

Предлагается разработка подсистемы регулирования влажности, включающей:

- пароувлажнитель;
- систему осушения;
- датчики влажности.

Контур реализуется с использованием PID-регулятора.

Для предотвращения повреждения оборудования предлагается внедрение алгоритма расчёта точки росы.

Совершенствование методик испытаний является важным фактором развития высокотехнологичного производства. Существующая система управления климатической камерой обладает высоким уровнем автоматизации, однако имеет ограничения, связанные с отсутствием управления влажностью и недостаточной гибкостью методик испытаний. Основным направлением модернизации является внедрение контура управления влажностью и развитие алгоритмов управления.

Комплексные климатические испытания являются необходимым условием обеспечения надежности IT-оборудования. Их совершенствование способствует повышению качества продукции и расширению возможностей испытательной лаборатории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 71784-2024. Национальный стандарт Российской Федерации. Средства вычислительной техники. Общие технические требования, приемка, методы испытаний, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.
2. Шишмарев В. Ю. Автоматика. – М.: Издательство Юрайт, 2026.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ЛИНИЕЙ ПРОИЗВОДСТВА РАЗЪЕМОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СБОРКИ

Ткаченко С.В., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Халапян С.Ю.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

В настоящей статье рассматриваются работа и перспективы модернизации системы управления линией сборки разъемов для глюкометров. К глюкометрам традиционно предъявляются повышенные требования по качеству сборки, так как от него напрямую зависит точность измерения уровня глюкозы в крови и безопасность пациента [1]. Высокая социальная и технологическая значимость проводимого исследования не вызывает сомнения.

Типовой состав глюкометра изображен на рисунке 1.

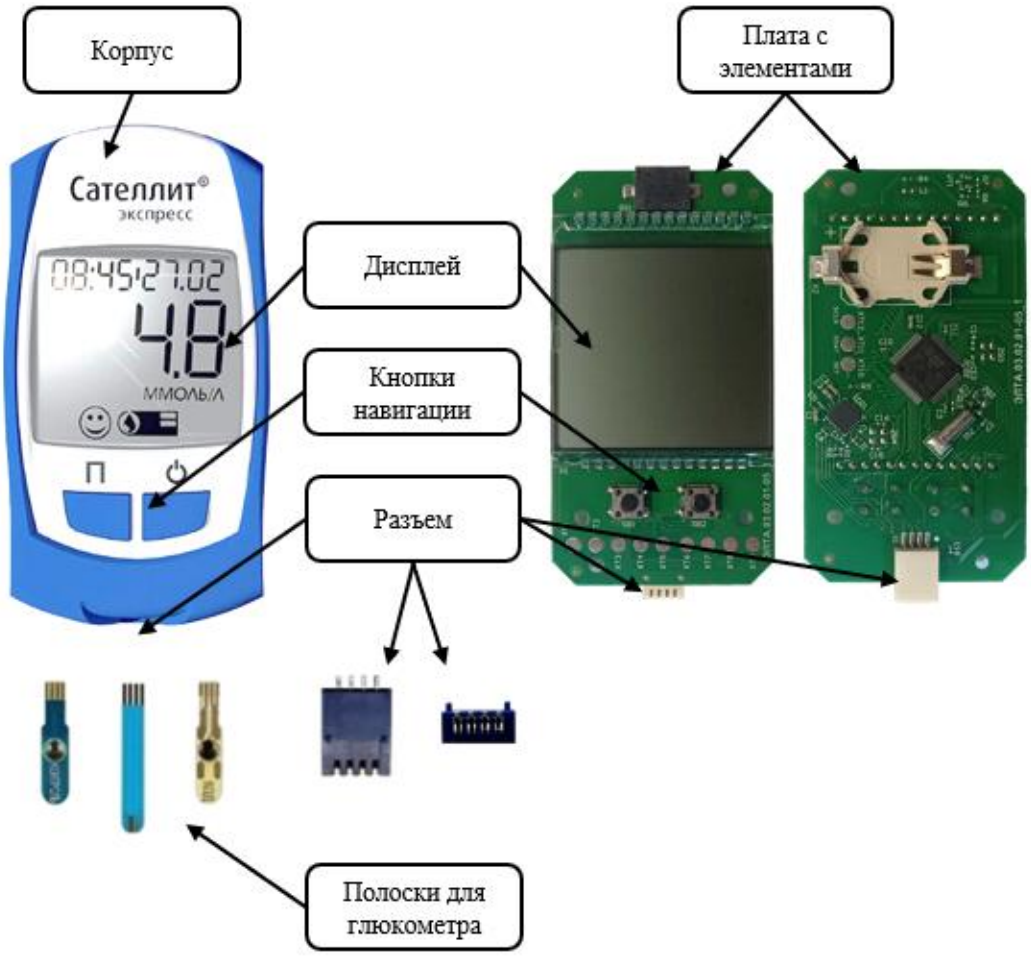


Рис. 1 – Типовой состав глюкометра

Автоматизированная линия сборки (АЛС) предназначена для серийного производства разъемов с пружинными контактами (pogo-pins). Линия представляет собой комплекс взаимосвязанных функциональных узлов (А0–А4), объединенных единой системой управления на базе программируемого логического контроллера. Структура линии построена по модульному принципу, что облегчает ее обслуживание и потенциальную модернизацию [2].

Существующая система управления АЛС обеспечивает выполнение полного цикла сборки: от сортировки и ориентации пластиковых заготовок (узел А0) до опрессовки

контактов и вывода готового изделия (узел А4). Управление осуществляется с помощью ПЛК Siemens SIMATIC s7-1200, который обрабатывает сигналы от датчиков положения и управляет исполнительными механизмами (пневмоцилиндрами, электроприводами) согласно заданной программе.

Однако в ходе анализа были выявлены существенные недостатки. Основным и критическим является полное отсутствие автоматического контроля качества готовых изделий. Контроль в существующей конфигурации осуществляется вручную сотрудниками ОТК, что неизбежно приводит к следующим проблемам [3]:

1. Невыявление дефектов: на этапах сборки (узлы А2–А4) возникают дефекты: перекос контактов, их неполная установка, различная глубина посадки, деформация корпуса. Ручной контроль не позволяет гарантировать выявление 100% таких отклонений.

2. Влияние человеческого фактора: усталость оператора, субъективность оценки и снижение внимания приводят к пропуску брака.

3. Риски для конечного пользователя: попадание дефектного разъема в готовый глюкометр может привести к нестабильному соединению, ошибочным измерениям и, как следствие, к неверной терапии для пациента с сахарным диабетом.

4. Экономические потери: брак, обнаруженный на последующих этапах или у потребителя, приводит к затратам на рекламации, переборку и репутационным рискам.

Таким образом, существующая система управления не обеспечивает главного требования к производству медицинских изделий – стопроцентной прослеживаемости и гарантии качества.

Для устранения выявленных недостатков предлагается модернизация системы управления путем интеграции нового узла автоматического контроля качества на базе машинного зрения. В отличие от традиционных методов контроля (ручного или с использованием простых датчиков), машинное зрение обеспечивает [4]:

- объективную оценку качества каждого изделия;
- высокую скорость обработки (менее 0,5 секунды на изделие), не снижающую такт линии;
- возможность интеграции с ПЛК для автоматической сортировки годных и бракованных деталей.

Данный подход соответствует современным тенденциям автоматизации технологических процессов и позволяет реализовать принцип «встроенного качества», когда контроль выполняется на каждом критическом этапе [5].

Узел машинного зрения предлагается разместить после узла опрессовки (А4) и перед выходом изделия на упаковку. Структура узла включает:

- верхнюю промышленную камеру (контроль расположения контактов в плоскости);
- фронтальную промышленную камеру (контроль глубины посадки);
- систему кольцевой светодиодной подсветки для устранения бликов;
- вычислительный модуль обработки изображений (ПК со специализированным ПО);
- интерфейс связи с ПЛК (дискретные линии или Ethernet);
- двухсторонний пневмоцилиндр с концевыми датчиками (система перемещения бракованных изделий).

Взаимное перпендикулярное расположение камер обеспечивает контроль в двух проекциях, что позволяет выявлять как смещение контактов, так и их неполную посадку по высоте.

Алгоритм работы модернизированной системы управления (разработан на основе):

1. ПЛК подает сигнал о поступлении изделия в зону контроля узла МЗ.
2. Вычислительный модуль запускает синхронный захват изображений с двух камер.
3. Выполняется предварительная обработка (фильтрация, бинаризация, выделение контуров).
4. Производится сравнение полученных параметров (координаты, углы, глубина посадки) с эталонными значениями.

5. Формируется результат: «Годен» или «Брак».
6. ПЛК, получив этот результат, управляет сортирующим механизмом: годное изделие направляется на упаковку, бракованное – в специальный контейнер для последующего анализа.

Такое взаимодействие полностью вписывается в существующую архитектуру управления и не требует замены базового контроллера [2].

Внедрение узла машинного зрения в состав автоматизированной линии сборки позволяет [3, 5]:

1. Обеспечить 100% автоматический контроль каждого выпускаемого разъема.
2. Снизить долю брака, попадающего к потребителю, до практически нулевого значения, что критически важно для медицинских изделий.
3. Повысить общую надежность глюкометров за счет гарантированного качества контактной группы.
4. Исключить субъективизм при оценке качества.
5. Получить статистические данные о типах и частоте дефектов для настройки предыдущих узлов (А2–А4).

В результате проведенного исследования было установлено, что существующая система управления автоматизированной линией сборки разъемов для глюкометров обладает высокой степенью автоматизации основных технологических операций, но критически уязвима из-за отсутствия финального автоматического контроля качества. Предложенная модернизация – внедрение узла машинного зрения (А5) с двумя взаимно перпендикулярными камерами – позволяет полностью устранить этот недостаток. Разработанные алгоритмы взаимодействия нового узла с существующим ПЛК обеспечивают бесшовную интеграцию без снижения производительности линии. Реализация предложенных решений позволит предприятию гарантированно выпускать продукцию, соответствующую высоким стандартам медицинских изделий, и исключить риски для здоровья пациентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладков Л. А. Автоматизированные линии и гибкие производственные системы. — М. : Машиностроение, 2017. — 400 с.
2. Шишкин А. В. Автоматизация сборочных процессов. — М. : Машиностроение, 2016. — 288 с.
3. Кулик А. Н. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. — М. : Инфра-М, 2018. — 320 с.
4. Системы машинного зрения в промышленности : учеб. пособие / под ред. И. В. Соколова. — М. : Техносфера, 2021. — 256 с.
5. Пупынин А. А. Машинное зрение и обработка изображений в АСУ ТП. — М. : ДМК Пресс, 2022. — 304 с.

СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЕ МЕЖДУ СИТАЛЛОМ И СТЕКЛОМ. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СИТАЛЛОВ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Труфанов А.А., студент 1 курса
Научный руководитель - к.п.н., доцент **Мякотина М.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Неорганические силикатные материалы составляют фундамент современного приборостроения, строительной индустрии и бытовой техники. Традиционное стекло, обладая выдающейся оптической прозрачностью и химической инертностью, имеет существенное ограничение в виде низкой устойчивости к термоударам и механической хрупкости, что напрямую связано с аморфным строением атомной сетки. В противовес этому, стеклокристаллические композиты (ситаллы) объединяют технологичность формования стекла с эксплуатационной надежностью керамики благодаря наличию упорядоченной кристаллической фазы внутри объема. Частичная кристаллизация аморфной основы радикально меняет поведенческие характеристики материала при температурных воздействиях, позволяя применять его в условиях, приводящих к разрушению обычных силикатных стёкол. Понимание глубинных различий в структуре и технологии получения этих материалов необходимо для обоснованного выбора в инженерных задачах высокой ответственности.

Целью настоящей работы является сравнительный анализ структурных особенностей стекла и ситалла, подробное описание технологии контролируемой кристаллизации и систематизация областей их практического применения.

Эволюция материаловедения в направлении создания веществ с заданным набором свойств привела к появлению гибридных решений, сочетающих преимущества различных классов соединений. Ограниченная стойкость классических стёкол к термическим и механическим воздействиям, обусловленная их неупорядоченной атомной структурой, контрастирует с их оптическими и химическими преимуществами. Данный дисбаланс стимулировал развитие технологий контролируемой кристаллизации, итогом которых стало создание стеклокерамических композитов (ситаллов), сочетающих достоинства обоих классов материалов.

Актуальность сопоставления данных материалов обусловлена необходимостью обоснованного выбора при проектировании изделий ответственного назначения — от оптических систем до элементов бытовой техники. Цель исследования — выявить структурно-обусловленные различия в поведении стекла и ситалла, проанализировать технологические нюансы их получения и систематизировать сферы рационального применения.

Сравнительная характеристика на уровне атомной организации и макроскопических свойств. Фундаментальное различие между стеклом и ситаллом коренится в характере упорядоченности атомной структуры. Стекло представляет собой замороженную переохлажденную жидкость, где атомы сохраняют ближний порядок координации, но лишены трансляционной симметрии, характерной для кристаллов. Такая аморфность обуславливает изотропию свойств, однако одновременно является источником внутренних напряжений при неравномерном нагреве, что снижает термостойкость изделий.

Ситаллы, напротив, формируются как поликристаллические агрегаты, где кристаллиты размером 0,05–0,5 мкм равномерно диспергированы в остаточной стекловидной фазе. Ключевой технологический прием — удержание размера кристаллов ниже длины волны видимого света — позволяет сохранять оптическую прозрачность при одновременном кардинальном изменении механических и термических характеристик. Объемная доля кристаллической фазы в ситаллах достигает 75–95%, что приближает их свойства к

характеристикам соответствующих монокристаллов, но с сохранением технологичности формования, присущей стеклу.

Фундаментальное различие в атомной организации продемонстрировано на рис. 1.

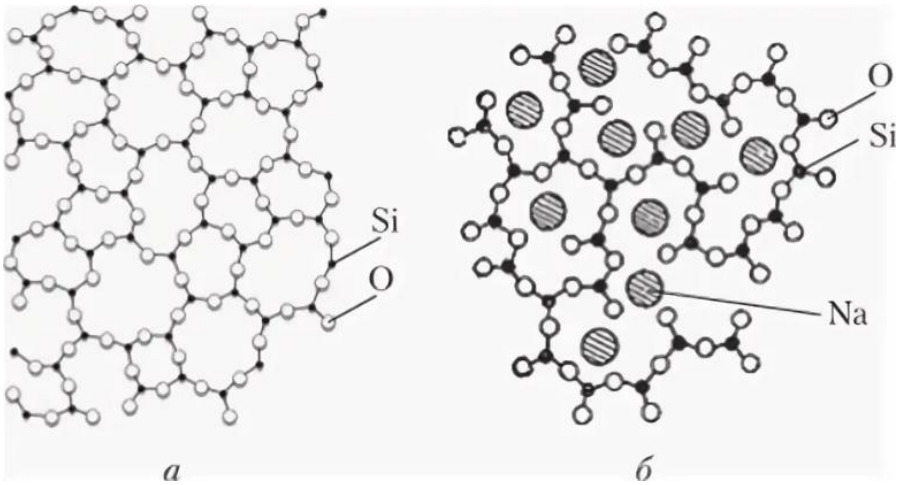


Рис. 1 – Сравнение упорядоченной кристаллической и неупорядоченной аморфной структуры силикатных материалов

Температурное поведение материалов демонстрирует влияние структуры на свойства. Для традиционных стёкол типичен коэффициент термического расширения (КТР) порядка $(80–90)\cdot10^{-7}$ K^{-1}, тогда как ситаллы системы $Li_2O–Al_2O_3–SiO_2$ с модификаторами TiO_2 характеризуются околонулевым или отрицательным КТР в заданном температурном интервале. Подобный эффект обусловлен сочетанием кристаллической фазы с отрицательным расширением (β-эвкриптит) и стеклофазы с положительным КТР. Итогом становится материал, сохраняющий геометрическую стабильность при нагреве до 800 °C — показатель, недоступный обычным стеклом.

По прочностным характеристикам ситаллы также превосходят стеклянные аналоги. Предел прочности при изгибе составляет 200–300 МПа против 40–80 МПа у силикатных стёкол, что связано с эффектом остановки трещин на межкристаллических границах, отсутствующим в аморфных структурах. Микротвердость ситаллов (6–8 ГПа) соответствует показателям закалённой стали, расширяя возможности эксплуатации в условиях абразивного износа.

Технологический регламент синтеза: от шихты к управляемой кристаллизации. Процесс получения ситаллов включает этапы, частично совпадающие со стекольным производством, но имеет принципиальные отличия на стадии термообработки. Исходная шихта, помимо традиционных компонентов (SiO_2, Al_2O_3, Li_2CO_3), обязательно содержит нуклеирующие агенты — соединения титана, циркония или фосфора в количестве 2–5 мас. Их функция — создание в объеме расплава гетерогенных центров, вокруг которых в дальнейшем инициируется рост кристаллической фазы.

После варки при 1550–1600 °C и формования заготовки (прессование, прокат) следует критически важный этап двухступенчатой термической обработки. Первая ступень (нуклеация) проводится при 550–700 °C в течение 1–4 часов. В этом температурном окне происходит выделение наноразмерных зародышей кристаллов из метастабильной стеклофазы. Плотность нуклеации достигает $10^{12}–10^{14}$ $см^{-3}$, что обеспечивает равномерность последующей кристаллизации по всему объему.

Вторая ступень (рост кристаллов) реализуется при повышении температуры до 800–1100 °C. Здесь происходит увеличение кристаллитов от зародышевых размеров до заданных 0,1–0,5 мкм. Скорость подъема температуры строго контролируется (обычно 2–5 °C/мин), чтобы избежать возникновения градиентов напряжений. Нарушение режима (например,

слишком быстрый нагрев) приводит к коалесценции кристаллов, росту их размера свыше 1 мкм и, как следствие, помутнению материала и снижению прочности.

Особенность промышленного производства крупногабаритных ситалловых заготовок (например, для телескопических зеркал диаметром до 2,6 м) — использование печей периодического действия, что может приводить к неоднородностям структуры. Однако современные методы контроля, включая рентгеноструктурный анализ и электронную микроскопию, позволяют минимизировать эти эффекты и обеспечивать воспроизводимость свойств.

Функциональная дифференциация и области рационального применения. Выбор между стеклом и ситаллом определяется конкретными эксплуатационными требованиями. Стекло остается безальтернативным в областях, где приоритетны максимальная оптическая прозрачность и минимальная стоимость: оконное остекление, тара, оптические линзы массового применения.

Ситаллы находят применение в областях, где критичны геометрическая стабильность и термостойкость. В астрооптике и лазерной технике они используются для изготовления зеркал телескопов и резонаторов, исключающих даже микронные деформации; яркий пример — марка СТ-50 с нулевым коэффициентом термического расширения, сохраняющая форму оптики при суточных перепадах температур. В бытовой технике стеклокерамика применяется для варочных панелей, выдерживающих локальный нагрев до 750 °C и контакт с холодной жидкостью — режим, вызывающий термоудар у обычного стекла. Химическое машиностроение использует ситаллы для аппаратуры и трубопроводов, работающих в агрессивных средах (устойчивость к кислотам, кроме HF, и щелочам до 300 °C). В медицине биоактивные композиции системы SiO_2–CaO–P_2O_5 служат для имплантатов, обеспечивающих остеоинтеграцию. В микроэлектронике материал выступает в роли подложек для микросхем благодаря согласованию КТР с кремнием, предотвращающему отслоение контактов при термоциклировании.

Особое место занимают шлакоситаллы — экономичные материалы на основе металлургических отходов. Несмотря на сниженную оптическую прозрачность, они обладают высокой химстойкостью и прочностью, что делает их востребованными в строительстве и промышленной облицовке.

Несмотря на более высокую себестоимость (на 30–50% выше, чем у стекла), применение ситаллов часто экономически оправдано за счёт увеличения срока службы и снижения эксплуатационных затрат. Перспективы развития связаны с поиском нуклеаторов из промышленных отходов, созданием прозрачных композитов для фотоники и внедрением аддитивных технологий формования сложных изделий без механической доработки. Экологически ситаллы безопасны в эксплуатации, однако их переработка требует специальных режимов из-за кристаллической структуры.

Анализ подтверждает: ситаллы — это не просто «кристаллизованное стекло», а самостоятельный класс функциональных материалов. Их ключевое преимущество — управляемая микроструктура, формируемая через контролируемую кристаллизацию, что позволяет «запрограммировать» термические, механические и оптические свойства под конкретную задачу. Хотя производство требует более сложного оборудования, чем у стекла, именно эта особенность обеспечивает воспроизводимость характеристик и открывает доступ к нише высокотехнологичных решений, где доминируют требования к стабильности, прочности и термостойкости. Дальнейшее развитие направления связано с оптимизацией энергозатрат и созданием гибридных композитов нового поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Китайгородский, И. И. Технология стекла / под ред. И. И. Китайгородского. – 3-е изд. – М.: Стройиздат, 1961. – 564 с.
2. Химическая технология стекла и ситаллов: учебник для вузов / М. В. Яхимович [и др.]. – М.: Стройиздат, 1983. – 432 с.

3. Свойства стекол и стеклообразующих расплавов: справочник: в 4 т. Т. 1 / О. В. Мазурин, М. В. Стрельцина, Т. П. Швайко-Швайковская. – Л.: Наука, 1973. – 440 с.
4. Журнал "Физика и химия стекла" / Российская академия наук, Институт химии силикатов им. И. В. Гребенщикова РАН. – ISSN 0132-6651
5. ГОСТ 11067-2013. Стекло и изделия из него. Метод определения ударной вязкости. – М.: Стандартинформ, 2013.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУТП ПЕЧИ НАГРЕВА МЕТАЛЛА №3 СПЦ-1 АО «ОЭМК» ИМ. А.А. УГАРОВА

Уханова М.А., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н, доцент **Фомин А.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Современное металлургическое производство невозможно представить без высокого уровня автоматизации технологических процессов. В условиях постоянного ужесточения требований к качеству готовой продукции, энергоэффективности и промышленной безопасности ключевым направлением развития становится цифровая трансформация систем управления [1]. Особое внимание уделяется нагревательным печам – сложным теплотехническим агрегатам, от стабильности работы которых напрямую зависят производительность прокатного стана и качество металла. Поддержание точного температурного режима по зонам печи, обеспечение оптимального соотношения «газ-воздух» и надёжная работа систем противоаварийной защиты (ПАЗ) являются критически важными задачами.

На АО «ОЭМК» в сортопрокатном цехе эксплуатируется печь нагрева №3 стана 700. Существующая система автоматизации, построенная на базе контроллеров Siemens S7-400 и распределённых регуляторов SIPART DR2410, а также устаревшего контроллера ПАЗ S5F, морально и физически устарела. Её архитектура обладает рядом системных недостатков, которые снижают надёжность, усложняют обслуживание и не позволяют внедрять современные алгоритмы управления. В связи с этим модернизация АСУ ТП печи нагрева является актуальной и экономически обоснованной задачей.

Описываемая печь предназначена для нагрева металлических заготовок под последующую обработку давлением (прокатку). Требуемое для горения тепло вырабатывается при сжигании смеси природного газа и воздуха в газовых горелках. Рабочее пространство печи разделено на шесть технологических зон (рисунок 1), различающихся по назначению и тепловой нагрузке:

- зоны 1 и 2 - зоны подогрева (методические);
- зоны 3 и 4 - зоны нагрева (сварочные);
- зоны 5 и 6 - зоны выравнивания (томильные).

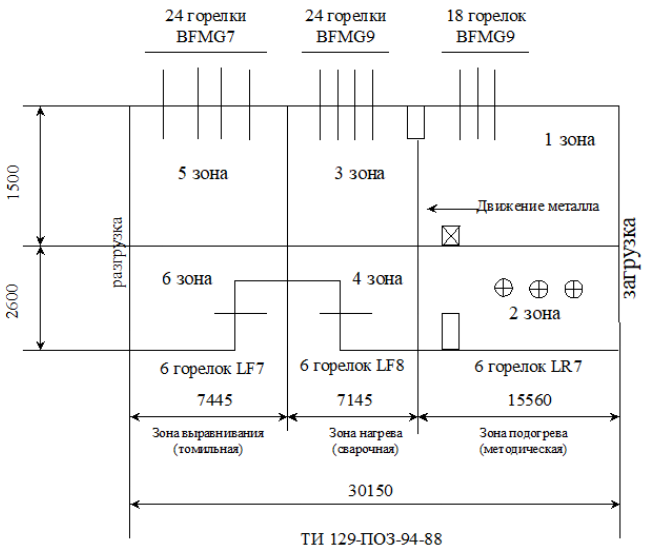


Рис. 22 – Структура объекта управления

Обогрев верхних зон (1, 3, 5) осуществляется сводовыми плоскопламенными горелками типа BFM7 и BFM9. Нижняя зона 2 обогревается боковыми длиннофакельными горелками FP7 с регулируемой длиной факела. Зоны 4 и 6 - торцевыми длиннофакельными горелками. Подача воздуха для горения обеспечивается вентилятором с автоматическим регулированием распределения воздуха по коллектору.

Контроль температуры осуществляется с помощью 18 термопар: по три на каждую зону. Термопары делятся на два типа - аварийные (их показания выводятся на дисплей оператору) и регулирующие (их сигналы используются в контурах автоматического регулирования). При отказе одной из двух регулирующих термопар происходит автоматическое переключение на резервную; при отказе аварийной термопары зона закрывается.

Несмотря на наличие средств автоматизации, существующая система управления печью имеет серьёзные недостатки, выявленные в ходе анализа её архитектуры и эксплуатации. На данный момент управление построено по распределённому принципу: все контуры регулирования температуры (по зонам) реализованы на автономных регуляторах Siemens SIPART DR2410. Центральный программируемый контроллер SIMATIC S7-400 выполняет лишь функции шлюза. Фактически мощный контроллер S7-400 используется неэффективно, а вся логика регулирования в морально устаревших SIPART DR2410.

Кроме того, критически важную функцию противоаварийной защиты (ПАЗ) выполняет контроллер Siemens S5F. Он отвечает за контроль пламени, давления газа и воздуха, а также за аварийное отключение печи при отклонениях. Однако данная платформа полностью устарела: производитель прекратил её поддержку, поставка запасных частей затруднена, а диагностика ограничена. Любое вмешательство в алгоритмы ПАЗ требует специальных знаний и несёт высокие риски.

Таким образом, можно выделить следующие основные недостатки существующей АСУ ТП:

- Избыточная гетерогенность - наличие разнородных типов управляющих устройств (S7-400, SIPART) усложняет обслуживание и повышает количество точек отказа.
- Низкая эффективность использования оборудования - контроллер S7-400 работает как простой шлюз, не реализуя свой вычислительный потенциал.
- Сложность модернизации - изменение алгоритмов регулирования требует физического перепрограммирования каждого SIPART DR2410, что трудоёмко.
- Устаревание ПАЗ - контроллер S5F несовместим с современными системами мониторинга и не обеспечивает требуемый уровень диагностики.

Целью модернизации АСУ ТП является создание единой, централизованной, масштабируемой системы управления, которая обеспечит повышение точности поддержания температурного режима, снижение аварийности, упрощение обслуживания и соответствие современным требованиям промышленной безопасности. Экономическая эффективность модернизации будет достигнута за счёт снижения расхода газа и сокращения простоев, связанных с отказами устаревшего оборудования.

Для обоснования проектных решений и настройки алгоритмов регулирования была разработана математическая модель системы управления температурой печи в среде MATLAB Simulink (рисунок 2). Модель включает три взаимосвязанных контура [2]. Контур температуры в зоне печи - основной контур, формирующий задание на расход газа. Объект управления по температуре описан апериодическим звеном первого порядка. Передаточная функция объекта имеет вид:

$$W_{oy}(s) = \frac{K}{T_s+1} \quad (1)$$

Коэффициент K определяется по формуле:

$$K = \frac{T_{max}}{F_{max}}; \quad (2)$$

где T_{max} = 1500 ºС – максимальная температура в зоне печи,

F_{max} = 1600 м^3/ч – расход газа, необходимый для достижения максимальной температуры.

$$K = \frac{1500}{1600} = 0{,}9$$

Постоянная времени T определяется по формуле:

$$T = \frac{t_{пп}}{3 \div 5}; \qquad (3)$$

где $t_{пп}$ - время переходного процесса.

$$T = \frac{1200}{3} = 400$$

$$T = 400, \text{с}$$

Таким образом, передаточная функция объекта управления будет выглядеть:

$$W_{оу}(s) = \frac{0{,}9}{400s+1}$$

В качестве регулятора температуры в системе используется ПИ-регулятор, реализуемый программно в контроллере.

Контур расхода газа - подчинённый контур с ПИ-регулятором, управляющий положением газовой заслонки с позиционером, модель может быть представлена следующей передаточной функцией:

$$W_{ИМ}(s) = \frac{1}{T_{ИМ} \cdot s+1}, \qquad (4)$$

где $T_{ИМ}$ = 20 сек - постоянная времени исполнительного механизма.

$$W_{ИМ}(s) = \frac{1}{20 \cdot s + 1}$$

Коэффициент пересчета степени открытия задвижки в расход газа:

$$K_{г} = \frac{F_{гmax}}{100} \qquad (5)$$

$$K_{г} = \frac{1600}{100} = 16$$

Модель датчика расхода газа принимается как звено с коэффициентом усиления, равным единице.

Контур расхода воздуха - также оснащён ПИ-регулятором, поддерживающим заданное стехиометрическое соотношение «газ/воздух». Исполнительный механизм имеет ту же постоянную времени $T_{ИМ}$ = 20 с.

Максимальный расход воздуха для данной печи составляет 19200 м3/час, поэтому коэффициент пересчета степени открытия задвижки в расход воздуха рассчитаем по формуле:

$$K_{В} = \frac{F_{вmax}}{100} \qquad (5)$$

$$K_{В} = \frac{19200}{100} = 192$$

Модель датчика расхода воздуха принимается как звено с коэффициентом усиления, равным единице.

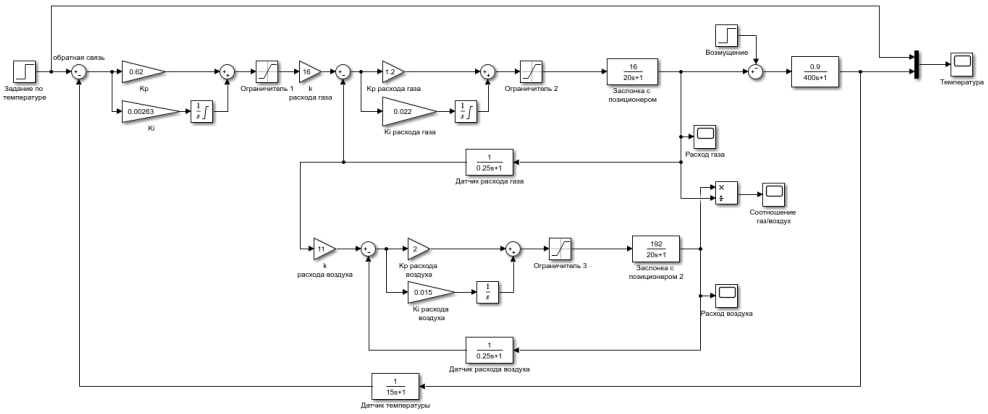


Рис. 23 – Математическая модель системы

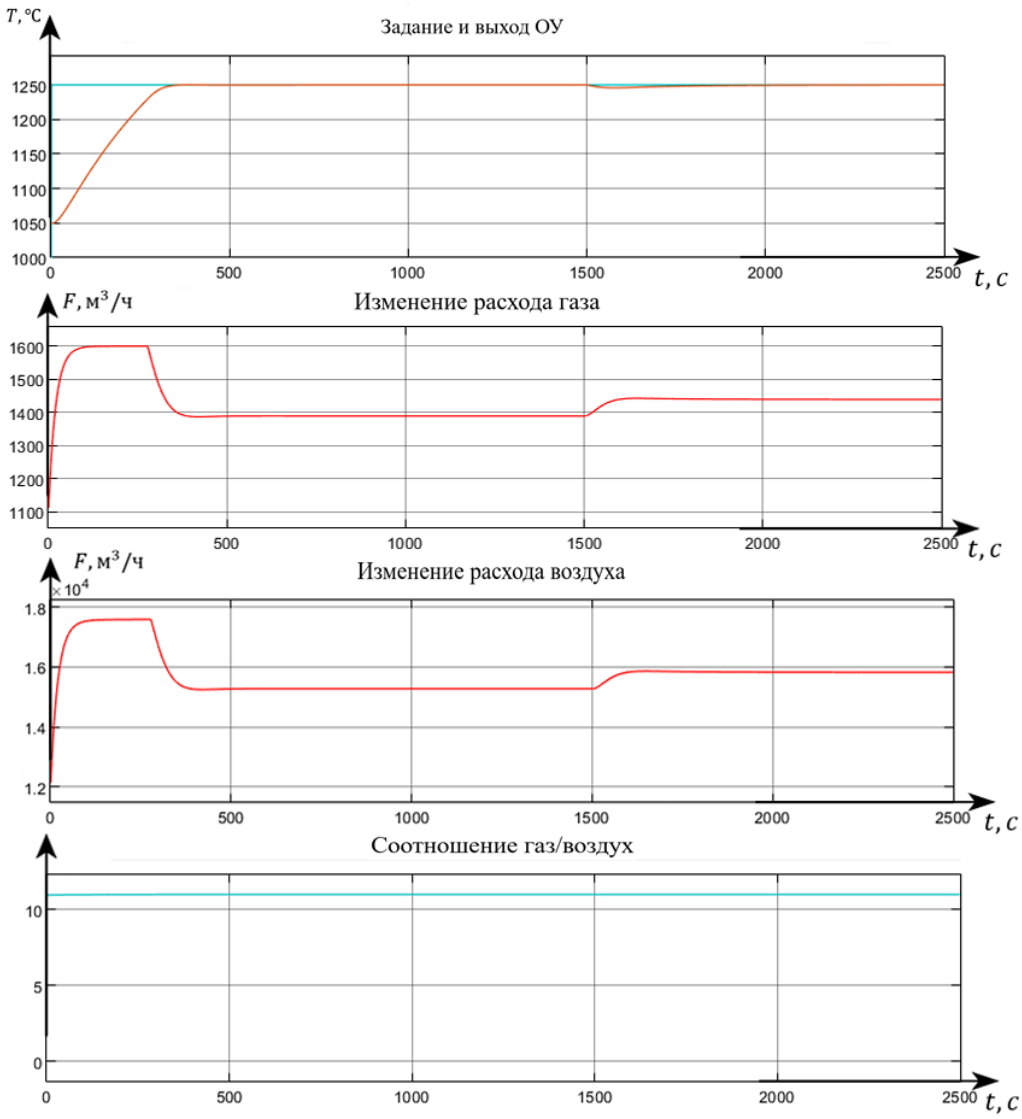


Рис. 24 – Графики переходных процессов

Моделирование проводилось для типового режима работы печи 1250 °С, а также отработка возмущения в виде изменения температуры. Объект управления характеризуется апериодическим звеном первого порядка. ПИ-регулятор обеспечивает нулевую статическую ошибку и допустимое качество переходных процессов. Подобранные параметры регуляторов позволяют системе успешно отрабатывать уставки и подавлять возмущения, что подтверждено вычислительными экспериментами.

Таким образом, математическая модель подтвердила принципиальную возможность централизованного регулирования с заменой распределённых регуляторов SIPART на единый контроллер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Средства автоматизации и управления: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Автоматизация технологических процессов и производств" / Кузнецов В.Н., Кривоносов В.А., Есилевский В.С./ - Старый Оскол: "ТНТ", 2017. – 356 с – Текст: непосредственный.

2. Фомин, А. В. Разработка функциональной схемы межконтурных взаимодействий в нагревательных печах на примере печей нагрева металла АО «ОЭМК им. А.А. Угарова» / А. В. Фомин // Автоматизация в промышленности. – 2024. – № 7. – С. 46-49.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РЕАЛИЗАЦИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ НАПРАВ ЛЕННОСТИ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 15.02.19 СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Фатьянова О.И., преподаватель
Областное государственное автономное профессиональное образовательное учреждение «Старооскольский индустриально-технологический техникум»,
Россия, г. Старый Оскол

В условиях интенсификации научно-технического прогресса и ужесточения требований к квалификации рабочих кадров система среднего профессионального образования призвана решать комплексную задачу: не только формировать у обучающихся прочные математические компетенции, но и обеспечивать их профессиональную мотивацию, а также готовность к решению прикладных задач в рамках избранной специальности [1].

Специальность 15.02.19 «Сварочное производство» относится к категории рабочих профессий с высокой востребованностью на современном рынке труда. Профессиональная деятельность сварщика предполагает соединение металлических и полимерных материалов методом оплавления без использования крепёжных элементов. От уровня квалификации специалиста напрямую зависят качество сварных швов, долговечность и устойчивость строительных конструкций, надёжность и срок службы промышленного оборудования и техники.

Как отмечал Рене Декарт ещё в XVII веке, *«математика представляет искуснейшие изображения, способные удовлетворить любознательность, облегчить ремёсла и уменьшить труд людей»*. Это утверждение особенно актуально для сварочного производства, где математические знания служат фундаментом профессиональной компетентности.

Математическая подготовка сварщика обеспечивает успешное выполнение целого ряда профессиональных задач [2]. В частности, она позволяет разрабатывать меры предупреждения дефектов сварных соединений и технологии их устранения, проводить теоретические и экспериментальные исследования по профилю специальности с последующей систематизацией и оформлением результатов, конструировать технологические модели типовых конструкций, строить чертежи будущих изделий с соблюдением норм инженерной графики. Кроме того, математические знания необходимы для использования математической символики при описании количественных и качественных характеристик объектов, анализа свойств проектируемых конструкций и оценки применимости полученных результатов.

Не менее значимо и то, что математическая подготовка даёт возможность применять методы геометрических построений и измерений для решения производственных задач, обрабатывать техническую информацию — анализировать данные, рассчитывать показатели, систематизировать результаты с использованием электронно-вычислительной техники, а также проводить экспертизу технической документации и контролировать состояние и эксплуатацию оборудования.

Создание сварной конструкции, отвечающей служебному назначению и требованиям надёжности, представляет собой многоэтапный процесс, включающий проектирование, инженерные расчёты и разработку рациональной технологии изготовления. Для реализации этих этапов необходимы вычислительные навыки, знание правил пропорции и методов нахождения неизвестных величин, владение геометрическими методами анализа и построения. Геометрическое проектирование позволяет сократить временные затраты на разработку изделия, минимизировать вероятность ошибок и повысить качество конечной продукции [3].

Моделирование внешнего вида изделия средствами геометрии — неотъемлемая часть работы современного сварщика. Грамотно выполненный чертёж позволяет оценить эстетические характеристики изделия, его соответствие требованиям функциональности и технологичности, а также математические свойства поверхностей и соединений. Ключевые геометрические понятия, необходимые сварщику, включают расстояние между точками,

длину отрезка, параллельность и перпендикулярность прямых, свойства окружности (радиус, диаметр и т.д.).

Расчёты, связанные с фигурами вращения, также необходимы в работе сварщика: они помогают определять длину сварных швов (стыковых, угловых) при изготовлении резервуаров и цистерн, рассчитывать расход электродного материала, вычислять массу и объём изделий.

Проиллюстрировать практическое применение математических знаний в сварочном производстве можно на ряде примеров. Так, для изготовления ёмкости для воды в форме прямоугольного параллелепипеда с размерами 1,2×3×1,5 м необходимо рассчитать площадь поверхности конструкции [4]. Другой пример — определение массы стальной двутавровой балки длиной 4 м, шириной 1 см и высотой 8 см (при плотности стали ≈7,8 г/см3). Ещё одна типовая задача — вычисление массы профильного металла длиной 25,75 м и высотой 1,2 м с поперечным сечением 8 мм (плотность стали ≈7,8 г/см3).

К числу практических задач относится и расчёт количества стали для изготовления бункера в форме правильной четырёхугольной призмы со стороной основания 1,2 м и высотой 2,4 м — с учётом 3 % на швы. Не менее актуален расчёт высоты кубического бункера объёмом 2,5 м3 для хранения шлака.

В рамках темы «Тела вращения» можно привести следующие примеры. Для сварки цистерны цилиндрической формы высотой 3 м и радиусом основания 1,5 м нужно рассчитать количество электродов (при расходе 4 электрода на 1 м; масса одного электрода — 60 г), а затем определить стоимость материала при цене 70 руб./кг. Другая задача — найти площадь металла для изготовления воронки в форме усечённого конуса с радиусами оснований 2 м и 10 м и высотой 30 м (с учётом 3 % на сварку). Также сварщику может потребоваться определить размеры прямоугольного листа металла для трубы длиной 140 см и диаметром 10 см (с учётом 2 см на швы) или вычислить площадь поверхности сопла газовой горелки в форме усечённого конуса (радиусы оснований 10 и 5 см, длина образующей 7 см).

Интеграция математической подготовки в профессиональное обучение сварщиков способствует формированию навыков самостоятельной работы, способности оценивать качество выполнения задач в соответствии с техническими требованиями, умения координировать действия в условиях динамически изменяющихся производственных ситуаций. Таким образом, естественно-математическая подготовка выступает ключевым элементом профессионального становления сварщика, обеспечивая его конкурентоспособность на рынке труда и возможность эффективного решения прикладных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего профессионального образования по специальности 15.02.19 «Сварочное производство».
2. Андреева Л. В. Профессионально ориентированное обучение математике в системе СПО // Педагогика. — 2020. — № 5. — С. 45–50.
3. Смирнов И. А., Петров В. Н. Математические методы в профессиональной подготовке сварщиков: учебное пособие. — М.: Академия, 2019. — 180 с.
4. ГОСТ 2.301–68 Единая система конструкторской документации. Форматы.
5. Декарт Р. Рассуждение о методе. — М.: Наука, 1989. — 656 с.
6. Кузнецов А. В. Методика преподавания математики в технических специальностях: монография. — СПб.: Политехника, 2021. — 210 с.

В ЧЕМ РАЗЛИЧИЕ МЕЖДУ ИОННОЙ И ИОННО-РЕЛАКСАЦИОННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ? ЧТО ХАРАКТЕРИЗУЕТ ВРЕМЯ РЕЛАКСАЦИИ И ОТ КАКИХ ФАКТОРОВ ОНО ЗАВИСИТ?

Филипенко С.В., студент 1 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Мякотина М.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В современной физике диэлектриков изучение механизмов поляризации является фундаментальной задачей, так как именно эти процессы определяют диэлектрическую проницаемость, тангенс угла потерь и электрическую прочность материалов.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью глубокого понимания поведения зарядов в диэлектриках в условиях изменяющихся внешних полей и температур, что критически важно для микроэлектроники, силовой электротехники и создания новых накопителей энергии.

Поляризация диэлектрика представляет собой процесс смещения связанных зарядов под действием внешнего электрического поля. Однако физическая природа этого смещения неоднородна. В веществах с ионным типом связи мы сталкиваемся с двумя принципиально разными механизмами: ионной и ионно-релаксационной поляризацией [2].

Различие между ними заключается не только в масштабах смещения заряженных частиц, но и в их энергетическом взаимодействии со средой. Если ионная поляризация рассматривается как упругий отклик системы, практически не зависящий от тепловых флуктуаций, то ионно-релаксационная поляризация неразрывно связана с тепловым движением и энергетическими барьерами внутри вещества.

Одной из ключевых характеристик, разделяющих эти процессы, является время релаксации. Эта величина определяет динамику установления поляризации и её частотную зависимость. В условиях высокочастотных полей или экстремальных температур понимание факторов, влияющих на время релаксации, позволяет прогнозировать стабильность работы диэлектрика и предотвращать тепловой пробой [4].

Целью данной работы является теоретический анализ различий между упругим смещением ионов и их релаксационным перераспределением, а также выявление физических факторов (таких как температура, структура материала и энергия активации), определяющих временные параметры этих процессов.

Объектом исследования выступают ионные диэлектрики различных структур, а предметом — кинетика установления поляризации и зависимость времени релаксации от внешних и внутренних условий.

Сравнительный анализ механизмов ионной и ионно-релаксационной поляризации требует глубокого понимания микрофизических процессов, происходящих внутри диэлектрической структуры под воздействием внешнего электрического поля. Основное различие между ними заключается в характере связи заряженных частиц с кристаллической решеткой или молекулярным остовом вещества. Ионная поляризация представляет собой чисто упругий процесс, характерный для твердых диэлектриков с плотной ионной упаковкой, таких как хлорид натрия или диоксид титана. В данном случае внешнее поле лишь незначительно деформирует электронные оболочки и смещает центры тяжести положительных и отрицательных ионов в противоположных направлениях. Это смещение происходит в пределах одного узла решетки, и ионы не покидают своих равновесных положений. Энергия, затраченная полем на такое смещение, возвращается системе практически полностью при снятии внешнего воздействия, что обуславливает отсутствие значительных тепловых потерь. Кроме того, из-за малой массы ионов и сильных возвращающих сил процесс протекает мгновенно — за время порядка десяти в минус

тринадцатой степени секунды, что позволяет ионной поляризации проявляться даже на частотах инфракрасного света [1].

В отличие от этого, ионно-релаксационная поляризация наблюдается в материалах с неплотной структурой, например, в неорганических стеклах или полимерах, где присутствуют слабосвязанные ионы, способные перемещаться на расстояния, превышающие параметры элементарной ячейки. Физическая природа этого механизма тесно связана с наличием вакансий или дефектов, между которыми существуют потенциальные барьеры. Без внешнего поля такие ионы совершают хаотические тепловые перескоки, однако при наложении электрического поля вероятность перехода в направлении поля становится выше, чем в обратном. Это приводит к постепенному накоплению избыточного заряда в объеме диэлектрика. Важнейшим отличием здесь является диссипативный характер процесса: преодоление потенциального барьера требует затрат энергии, которая переходит в тепло, вызывая диэлектрический нагрев материала [6].

Центральным понятием, описывающим динамику релаксационного процесса, является время релаксации. Оно характеризует среднюю продолжительность ожидания ионом благоприятного энергетического состояния для совершения перескока и математически выражает время, за которое поляризация достигает определенной доли от своего равновесного значения. Время релаксации является индикатором внутренней подвижности структуры и находится в экспоненциальной зависимости от температуры. При нагревании энергия тепловых колебаний возрастает, что делает преодоление потенциальных барьеров более вероятным и резко сокращает время установления поляризации. Помимо температуры, на этот параметр влияют величина самого энергетического барьера, масса и радиус иона, а также концентрация вакансий в материале. Таким образом, если ионная поляризация является стабильным и быстрым откликом системы, то ионно-релаксационная поляризация — это статистический, зависящий от внешних условий процесс, который может длиться от микросекунд до нескольких минут, определяя частотные и температурные границы использования конкретного диэлектрика в технике [3].

Таблица 1 – сравнительная таблица

Параметр сравнения		Ионная (упругая)	Ионно-релаксационная
Локализация		В пределах узла решетки	Между соседними вакансиями/порами
Тип деформации		Упругое смещение	Диффузионный перескок
Время установления		10^{-13} с (сверхбыстро)	От 10^{-10}до минут (замедленно)
Частотный диапазон		Проявляется вплоть до ИК-света	Только на низких и средних частотах
Энергия активации		Не требуется	Требуется для преодоления барьера U
Зависимость от частоты		Проницаемость ε почти постоянна	ε резко падает с ростом частоты
Резонанс и релаксация		Имеет резонансный характер	Имеет затухающий (замедленный) характер

Важнейшим критерием разделения ионной и ионно-релаксационной поляризации является их поведение в переменных электрических полях различной частоты. Ионная (упругая) поляризация обладает чрезвычайно малой инерционностью. Поскольку смещение ионов происходит лишь в пределах их равновесных положений в узлах решетки, этот

механизм успевает следовать за изменениями электрического поля вплоть до частот терагерцевого диапазона и инфракрасного излучения. Вследствие этого диэлектрическая проницаемость материалов с преобладанием упругой поляризации остается практически постоянной в широком интервале частот, а энергия поля не поглощается веществом. Это делает подобные диэлектрики идеальными для использования в высокочастотной технике и радиоэлектронике, где недопустим перегрев компонентов [5].

Совершенно иная картина наблюдается при ионно-релаксационной поляризации. Поскольку перескок иона через потенциальный барьер — это статистический процесс, требующий определенного времени (времени релаксации τ), данный механизм эффективен только на относительно низких частотах. Когда период колебаний внешнего поля становится соизмерим с временем релаксации, ионы перестают «успевать» за изменениями знака поля. На частотах, значительно превышающих $\frac{1}{2}\pi\tau$, релаксационный вклад в общую поляризацию полностью исчезает, что сопровождается резким падением диэлектрической проницаемости вещества — явлением, называемым диэлектрической дисперсией [4].

Особое значение в исследовании имеет область частот, где период поля близок к времени релаксации. Именно в этом диапазоне наблюдается максимум диэлектрических потерь: энергия электрического поля наиболее интенсивно расходуется на работу по перемещению ионов против сил внутреннего сопротивления среды и выделяется в виде джоулева тепла. Это явление ограничивает применение многих полимеров и стекол в качестве изоляторов в мощных электротехнических установках, так как при определенных температурах и частотах может возникнуть лавинообразный нагрев, ведущий к тепловому пробою диэлектрика. Таким образом, анализ частотных спектров позволяет экспериментально определить время релаксации конкретного материала и установить границы его безопасной эксплуатации [5].

В ходе проведенного исследования были детально рассмотрены физические механизмы ионной и ионно-релаксационной поляризации, а также проанализирована роль временных характеристик в этих процессах. Проведенный сравнительный анализ позволяет сделать несколько ключевых выводов:

Во-первых, установлена принципиальная разница в природе взаимодействия носителей заряда с кристаллической структурой диэлектрика. Если ионная поляризация является упругим, мгновенным откликом системы, не связанным с тепловыми потерями и преодолением энергетических барьеров, то ионно-релаксационная поляризация представляет собой сложный вероятностный процесс. Она обусловлена тепловыми перескоками слабосвязанных ионов, что неизбежно ведет к диссипации энергии электрического поля в тепло.

Во-вторых, выявлено, что время релаксации является фундаментальным параметром, определяющим динамический диапазон работы диэлектрика. Физический смысл этой величины заключается в определении средней скорости установления равновесного состояния системы. На микроскопическом уровне время релаксации зависит от высоты потенциального барьера и подвижности ионов, а на макроскопическом — критически зависит от температуры. Экспоненциальное сокращение времени релаксации при нагреве (согласно закону Аррениуса) приводит к резкому возрастанию диэлектрических потерь, что необходимо учитывать при проектировании электротехнических устройств.

В-третьих, рассмотрение частотных зависимостей показало, что вклад релаксационных процессов в диэлектрическую проницаемость исчезает на высоких частотах, когда период внешнего поля становится меньше времени релаксации. Это явление дисперсии ограничивает применение материалов с релаксационным механизмом поляризации в высокочастотных цепях, отдавая приоритет материалам с чисто упругой поляризацией.

Таким образом, понимание различий между данными механизмами позволяет не только глубже интерпретировать физические свойства твердых тел, но и обоснованно подходить к выбору изоляционных и конденсаторных материалов для работы в различных

температурных и частотных режимах. Полученные данные могут быть использованы для прогнозирования надежности диэлектрических структур и предотвращения их теплового разрушения в процессе эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров, С. Л. Физика диэлектриков : учебное пособие для вузов / С. Л. Александров, П. А. Курбатов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Юрайт, 2024. — 148 с.
2. Богородицкий, Н. П. Электротехнические материалы : учебник для академического бакалавриата / Н. П. Богородицкий, В. В. Пасынков, Б. М. Тареев. — 8-е изд., перераб. и доп. — Москва : Юрайт, 2023. — 324 с.
3. Голованов, В. В. Физика и химия твердого тела : учебное пособие / В. В. Голованов. — Москва : Инфра-Инженерия, 2022. — 256 с.
4. Пасынков, В. В. Материалы электронной техники : учебник для вузов / В. В. Пасынков, В. С. Сорокин. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 368 с.
5. Рычков, Д. А. Физика диэлектриков : электронный учебный курс / Д. А. Рычков. — Москва : МИРЭА — Российский технологический университет, 2021. — 112 с.
6. Щербаков, А. С. Основы физики конденсированного состояния : учебное пособие / А. С. Щербаков. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2021. — 164 с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНО – РАСТОЧНОГО СТАНКА 2Б660

Фомина К.В., студент 2 курса магистратуры
Научный руководитель – к.т.н. **Петров В.А.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Тяжелый универсальный горизонтально – расточной станок 2Б660 предусмотрен в целях окончательной и предварительной обработки больших и тяжелых деталей машин. Данный станок способен производить обработку отверстий, обточку фланцев, фрезерование плоскостей, сверление, развертывание и нарезание метрических, а также дюймовых резьб

Целью данной работы является разработка и исследование системы автоматического регулирования скорости электропривода горизонтально расточного станка 2Б660.

На рисунке 1 представлена схема управления электроприводом горизонтально-расточного станка 2Б660.

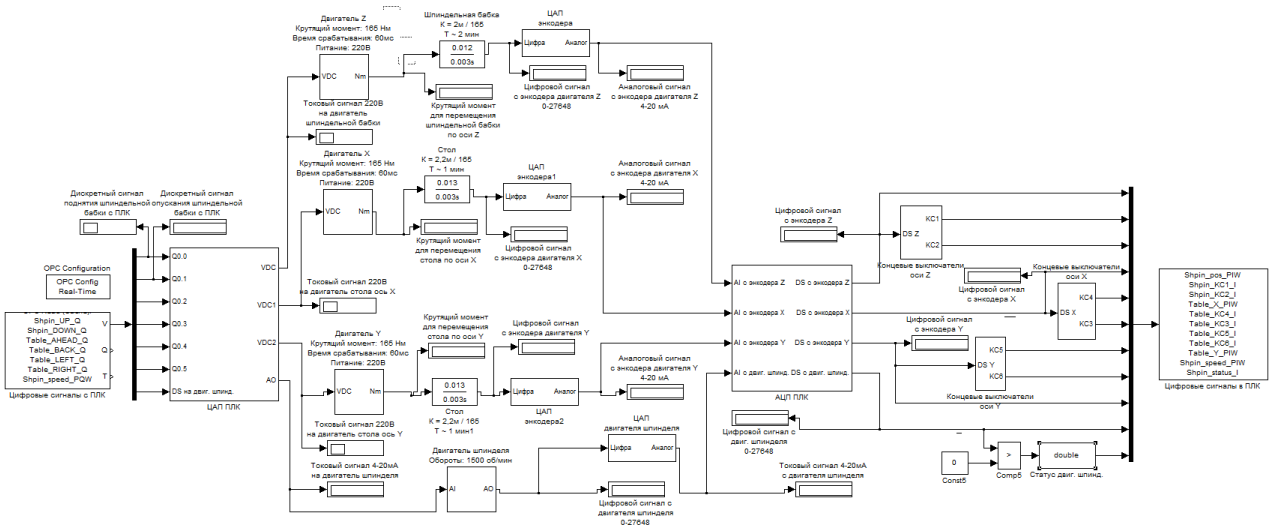


Рис. 1 – Схема электропривода

На рисунке 2 представлен экран SCADA WinCC

Рис. 2 – Визуализация

Визуализация в WinCC состоит из визуального представления объекта «с камер видео наблюдения», пульта управления, тренда с изображением скорости шпинделя и симулятора.

Все управление объектом происходит с Пульт управления, в котором:

1. Координаты стола (оси X и Y).
2. Состояние. В начале объект находится в состоянии STOP, при этом все кнопки управления заблокированы. Чтобы запустить объект в работу нужно нажать кнопку START.
3. Режим работы определяет, как будут перемещаться шпиндельная бабка (ось Z) и стол. В ручном режиме кнопки управления находятся внизу пульта управления. В автоматическом режиме нужно выбрать размер обрабатываемого объекта на столе и его смещение относительно центра шпинделя.
4. Программа – это, скажем так, уставки для ПИД – регулирования скорости вращения шпинделя. Растачивание – 1200 об/мин, Фрезерование – 750 об/мин, Сверление – 400 об/мин.

Далее создали программный код в STEP7

Конфигурация ПЛК выглядит следующим образом:

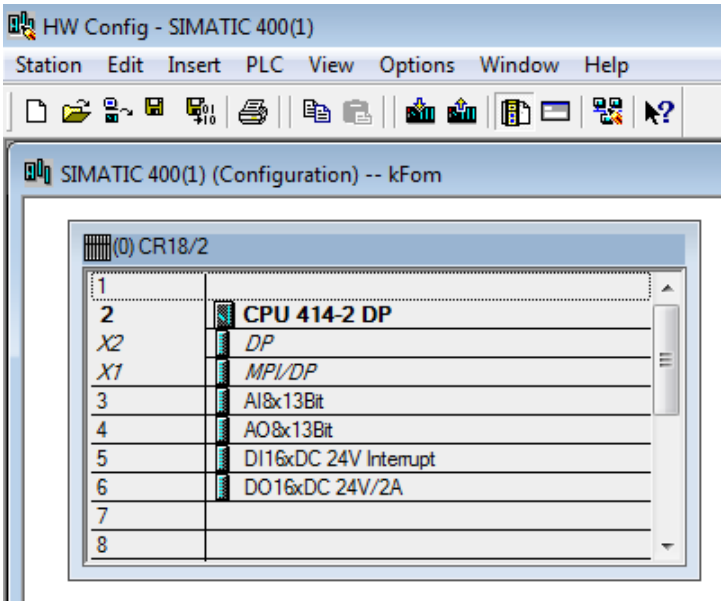
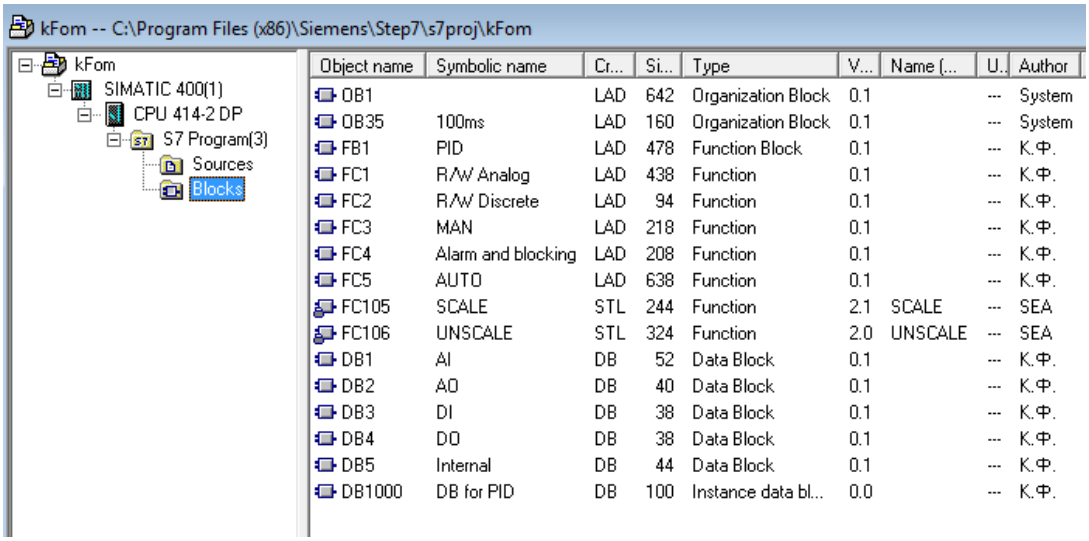


Рис. 3 – Конфигурация ПЛК

Структура проекта выглядит:



Object name	Symbolic name	Cr...	Si...	Type	V...	Name (...	U...	Author
OB1		LAD	642	Organization Block	0.1		---	System
OB35	100ms	LAD	160	Organization Block	0.1		---	System
FB1	PID	LAD	478	Function Block	0.1		---	К.Ф.
FC1	R/W Analog	LAD	438	Function	0.1		---	К.Ф.
FC2	R/W Discrete	LAD	94	Function	0.1		---	К.Ф.
FC3	MAN	LAD	218	Function	0.1		---	К.Ф.
FC4	Alarm and blocking	LAD	208	Function	0.1		---	К.Ф.
FC5	AUTO	LAD	638	Function	0.1		---	К.Ф.
FC105	SCALE	STL	244	Function	2.1	SCALE	---	SEA
FC106	UNSCALE	STL	324	Function	2.0	UNSCALE	---	SEA
DB1	AI	DB	52	Data Block	0.1		---	К.Ф.
DB2	AO	DB	40	Data Block	0.1		---	К.Ф.
DB3	DI	DB	38	Data Block	0.1		---	К.Ф.
DB4	DO	DB	38	Data Block	0.1		---	К.Ф.
DB5	Internal	DB	44	Data Block	0.1		---	К.Ф.
DB1000	DB for PID	DB	100	Instance data bl...	0.0		---	К.Ф.

Рис. 4 – Структура проекта

DB – это блоки данных, в которых долгосрочно хранится информация об объекте, а также это блоки которые привязаны к SCADA системе **WinCC**.

FC – это функции. Использовала я их для структурирования организационного блока OB1 (удобно читать и смотреть программный код)

FB – это функциональный блок. По сути тоже самое, что и FC, но у FB есть свой личный блок данных DB.

OB – организационные блоки. Это главные области обработки кода в ПЛК. В проекте их несколько OB1 и OB35. OB1 – крутится с плавающей частотой, все зависит от обработки программного кода. OB35 – крутится с постоянной частотой в 100 мс, это как раз нужно для ПИД – регулятора (он там и вызывается).

PID – это самописная функция ПИД – регулятора, в котором описана формула регулирования.

FC105, FC106 – это библиотечные функции обработки аналоговых сигналов. FC105 работает на прием (AI), а FC106 на отдачу (AO).

Пример содержание блока OB35: блок включает в себя ПИД-регулятор

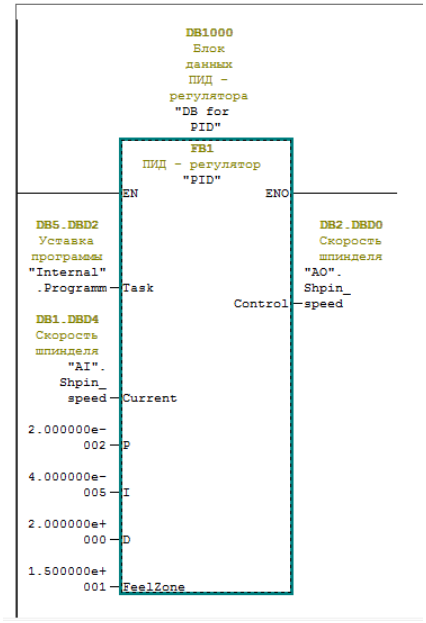


Рис. 5 – Блок OB35

Для передачи данных между WinCC и Matlab и отображении их в визуализации были созданы теги в WinCC

Name	Type	Parameters	Last Change
Shpin_pos_PIW	Signed 16-bit value	MW512	3/15/2026 1:35:12 PM
Shpin_pos	Floating-point number 32-bit IEEE 754	DB1,DD0	3/15/2026 12:40:47 PM
Shpin_speed_PIW	Signed 16-bit value	MW514	3/15/2026 1:36:21 PM
Shpin_speed	Floating-point number 32-bit IEEE 754	DB1,DD4	3/15/2026 12:41:59 PM
Shpin_status_I	Binary Tag	M0.0	3/15/2026 1:48:09 PM
Shpin_status	Binary Tag	DB3,D0.0	3/15/2026 12:43:32 PM
Shpin_KC1_I	Binary Tag	M0.1	3/15/2026 1:48:16 PM
Shpin_KC1	Binary Tag	DB3,D0.1	3/15/2026 12:44:24 PM
Shpin_KC2_I	Binary Tag	M0.2	3/15/2026 1:48:21 PM
Shpin_KC2	Binary Tag	DB3,D0.2	3/15/2026 12:45:08 PM
AUTO	Binary Tag	DB5,D0.0	3/15/2026 2:55:19 PM
MAN	Binary Tag	DB5,D0.1	3/15/2026 2:55:32 PM
Shpin_UP	Binary Tag	DB4,D0.0	3/15/2026 3:19:57 PM
Shpin_DOWN	Binary Tag	DB4,D0.1	3/15/2026 3:20:11 PM
Shpin_UP_Q	Binary Tag	A0.0	3/15/2026 3:29:04 PM
Shpin_DOWN_Q	Binary Tag	A0.1	3/15/2026 3:29:20 PM
Table_X_PIW	Signed 16-bit value	MW516	3/15/2026 8:11:47 PM
Table_X	Floating-point number 32-bit IEEE 754	DB1,DD8	3/15/2026 8:12:15 PM
Table_Y_PIW	Signed 16-bit value	MW518	3/15/2026 8:13:05 PM
Table_Y	Floating-point number 32-bit IEEE 754	DB1,DD12	3/15/2026 8:14:01 PM
Table_KC3_I	Binary Tag	M0.3	3/15/2026 8:59:23 PM
Table_KC4_I	Binary Tag	M0.4	3/15/2026 9:00:13 PM
Table_KC5_I	Binary Tag	M0.5	3/15/2026 9:00:27 PM
Table_KC6_I	Binary Tag	M0.6	3/15/2026 9:00:40 PM
Table_KC3	Binary Tag	DB3,D0.3	3/15/2026 9:00:57 PM
Table_KC4	Binary Tag	DB3,D0.4	3/15/2026 9:01:12 PM
Table_KC5	Binary Tag	DB3,D0.5	3/15/2026 9:01:20 PM
Table_KC6	Binary Tag	DB3,D0.6	3/15/2026 9:01:26 PM

Name	Type	Parameters	Last Change
Table_KC3_I	Binary Tag	M0.3	3/15/2026 8:59:23 PM
Table_KC4_I	Binary Tag	M0.4	3/15/2026 9:00:13 PM
Table_KC5_I	Binary Tag	M0.5	3/15/2026 9:00:27 PM
Table_KC6_I	Binary Tag	M0.6	3/15/2026 9:00:40 PM
Table_KC3	Binary Tag	DB3,D0.3	3/15/2026 9:00:57 PM
Table_KC4	Binary Tag	DB3,D0.4	3/15/2026 9:01:12 PM
Table_KC5	Binary Tag	DB3,D0.5	3/15/2026 9:01:20 PM
Table_KC6	Binary Tag	DB3,D0.6	3/15/2026 9:01:26 PM
Table_AHEAD_Q	Binary Tag	A0.2	3/15/2026 9:02:18 PM
Table_BACK_Q	Binary Tag	A0.3	3/15/2026 9:03:34 PM
Table_LEFT_Q	Binary Tag	A0.4	3/15/2026 9:03:54 PM
Table_RIGHT_Q	Binary Tag	A0.5	3/15/2026 9:04:09 PM
Table_AHEAD	Binary Tag	DB4,D0.2	3/15/2026 9:04:59 PM
Table_BACK	Binary Tag	DB4,D0.3	3/15/2026 9:05:14 PM
Table_LEFT	Binary Tag	DB4,D0.4	3/15/2026 9:05:24 PM
Table_RIGHT	Binary Tag	DB4,D0.5	3/15/2026 9:05:42 PM
Shpin_speed_PQW	Signed 16-bit value	AW512	3/16/2026 3:08:34 PM
START	Binary Tag	DB5,D0.2	3/16/2026 7:18:08 PM
STOP	Binary Tag	DB5,D0.3	3/16/2026 7:18:20 PM
Boring	Binary Tag	DB5,D0.4	3/16/2026 7:18:52 PM
Milling	Binary Tag	DB5,D0.5	3/16/2026 7:19:05 PM
Drilling	Binary Tag	DB5,D0.6	3/16/2026 7:19:19 PM
Sim_big	Binary Tag	DB5,D6.0	3/16/2026 7:20:17 PM
Sim_middle	Binary Tag	DB5,D6.1	3/16/2026 7:20:40 PM
Sim_small	Binary Tag	DB5,D6.2	3/16/2026 7:20:51 PM
Sim_left	Binary Tag	DB5,D6.3	3/16/2026 7:21:03 PM
Sim_no	Binary Tag	DB5,D6.4	3/16/2026 7:21:13 PM
Sim_right	Binary Tag	DB5,D6.5	3/16/2026 7:21:25 PM

Рис. 6 – Созданные теги в WinCC

В ходе выполнения работы была разработана и исследована система автоматического регулирования скорости электропривода горизонтально-расточного станка 2Б660. С использованием MATLAB/Simulink выполнено математическое моделирование и расчет параметров ПИД-регуляторов. Программная реализация выполнена в STEP 7 на языке LAD для контроллера Siemens S7-300. Для оперативного контроля и управления разработана система визуализации в WinCC. Экспериментальные исследования подтвердили корректность выбранных решений: система обеспечивает устойчивое регулирование скорости с заданной точностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паспорт и руководство по эксплуатации горизонтально-расточного станка 2Б660 – Текст: непосредственный.
2. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов: Учебник для студ. вузов / Под ред. В.М. Терехова. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 5. Донской Н.В., Кириллов А.А., Купчан Я.М. и др. Комплектные системы управления электроприводами тяжёлых металлорежущих станков / Под ред. А.Д. Поздеева. М.: Энергия, 1980. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.toroid.ru/terehovVM.html (дата обращения: 02.11.2024).
3. Бергер Г. Автоматизация с помощью программ STEP7 LAD и FBD. Программируемые контроллеры SIMATIC S7-300/400. – 2-е изд., перераб. – М. : Сименс, 2001. – 456 с. – Заказной номер: 6ES7810-4CA05-8AR0.

4. SIMATIC. STL для S7-300 и S7-400. Программирование. Справочное руководство. – Siemens AG, 2004. – 306 с. – (Редакция 01/2004; заказной номер: 6ES7810-4CA07-8BW1; A5E00261408-01).

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУТП НАСОСНОЙ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ №2 ЦЕХА ХВОСТОВОГО ХОЗЯЙСТВА АО «СГОК»

Хорхордин А.С., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н, доцент **Фомин А.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ МИСИС)

В процессе модернизации технологических процессов на производстве главной задачей является автоматизация всех технологических линий и объектов. Усовершенствование автоматизированных технологических процессов должно приводить к высоким показателям самого производства и, как следствие, высокой конкурентоспособности на мировом рынке. На каждом производстве автоматизация технологических процессов занимает первостепенное место. Контроль за технологическим процессом, оперативное решение поставленных задач, устранение выявленных ошибок и своевременная замена комплектующих позволяют выполнять производственные задачи и контролировать работу всего производства. Сегодня важно не только автоматизировать производство, но и следовать одной из современных и востребованных тенденций в мире технического прогресса – цифровизации производства [1].

Увеличение производств и цифровизация технологических линий требуют приведения действующих систем автоматизации к современному уровню развития. Уровень работы любого производства определяется аппаратно-технической составляющей системы, что приводит к необходимости замены морально устаревших элементов комплекса технических средств (КТС).

Описываемый объект НОВ-2 является частью целого комплекса представляющего собой замкнутую систему, позволяющую повторно использовать воду, участвующую в технологических процессах на фабрике обогащения. Данный комплекс состоит из следующих объектов:

1. Цикл начинается с НОВ-1, данный объект предназначен для перекачки технической воды от водного резервуара очищенной воды до зумпфов следующего элемента, основная задача данного объекта поддержание необходимого уровня в приёмных камерах НОВ-2. Графически данный узел отображен на рисунке 1.

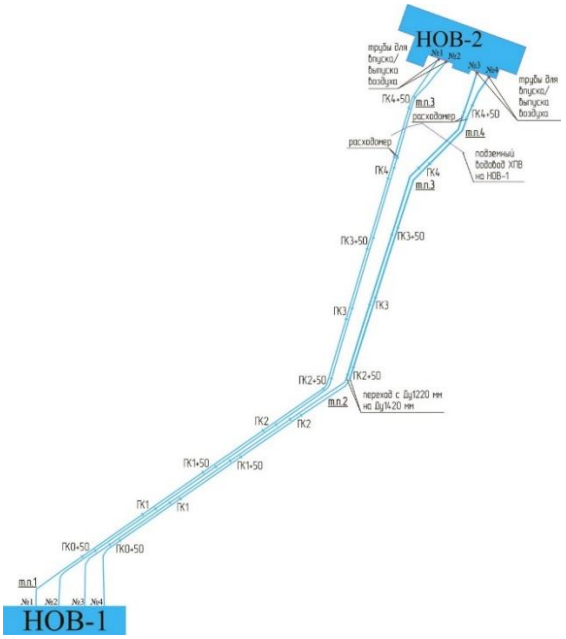


Рис. 1 – Узел НОВ-1

2. Следующим звеном цепочки является НОВ-2, на данном объекте установлены электронасосные агрегаты, перекачивающие воду от приёмных камер непосредственно на фабрику обогащения, где очищенная вода участвует в технологических процессах, основная задача данной насосной поддержание необходимого давления в напорном коллекторе Обогатительной фабрики, излишки воды по системе технологического перелива отводятся в буферную емкость. Графически данный узел отображен на рисунке 2.

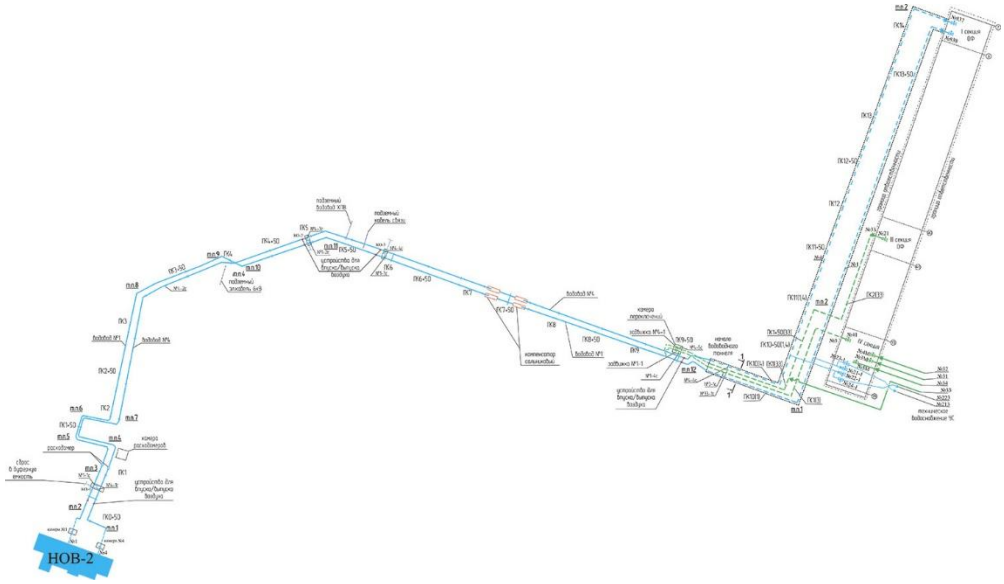


Рис. 2 – Узел НОВ-2

3. После прохождения воды по всем технологическим цепочкам вода совместно с отработанной невостребованной породой, представляющую собой взвесь мелкодисперсных твердых частиц с пониженным содержанием металлов отправляется на хвостохранилища Стойленского ГОКа. Хвостохранилищем называют комплекс специальных сооружений, предназначенных для хранения отвальных отходов обогащения полезных ископаемых. Хвостохранилище состоит из нескольких водных резервуаров, образованных посредством дамб, где происходит фильтрация поступивших отходов. При отстаивании хвостов происходит их разделение на осадочную твердую фазу и воду. Вода в последствии вторично используется в технологических процессах, то есть происходит замыкание цикла и переход на первый пункт данного списка, а осадочная твердая фаза по сути является новым видом месторождения имеющем техногенный характер.

Система работает непрерывно. Режим работы системы напрямую зависит от режима работы обогатительной фабрики, которая использует оборотную воду в разных стадиях процесса обогащения руды. В зависимости от качества исходной руды и конечного продукта (концентрат) возможно периодическое изменение объема подаваемой воды. Режим подачи воды определяет технологический персонал ОФ, а технологический персонал ЦХХ обеспечивает подачу воды с соответствующими технологическими показателями (расход, давление, содержание твердого).

Водоводы технической воды от НОВ-2 до ОФ и от ОФ до НОВ-3 работают непрерывно. Полные остановки водоводов совпадают с остановкой ОФ для проведения ремонтов. Техническая вода предназначена так же для заполнения чаши сгустителей №1,2, приемных зумпфов НОВ-3 и водоводов технологической воды при каждом запуске УС.

В ходе изучения предметной области проекта были выделены недостатки существующего уровня автоматизации:

Отсутствие какой-либо системы автоматизации самой насосной, НОВ-2 не оборудована устройствами автоматического управления, а именно контроллерами и системами визуализации. Отсутствует система диагностики и ведения журналов аварий и событий.

Система архивации данных не является полноценной системой автоматизации, так как производит лишь запись аналоговых величин в целях просмотра и архивации для формирования отчетов. Управление технологическим процессом осуществляет технологический персонал насосной в ручном режиме.

Целью внедрения АСУ ТП является обеспечение снижения различных отклонений от нормального режима работы насосной станции. Основным показателем, определяющим экономическую целесообразность затрат на создание АСУ ТП, является годовой экономический эффект. Экономическая эффективность АСУ ТП определяется годовым приростом прибыли и годовым экономическим эффектом.

В основу исходных данных для расчета экономической эффективности АСУТП положены результаты анализа хозяйственной деятельности цеха за период, предшествующий началу разработки АСУ ТП.

Создаваемая система АСУ должна быть запроектирована с учётом масштабирования системы автоматизации всех уровней.

Должна будет реализована диагностика сетей всех уровней.

Осуществить сбор данных со всех запорных устройств, приборов КИП, В\В выключателей (мощность, проток, давление, положение).

Все аварийные, статусные и предупреждающие сообщения реализованные в системе визуализации должны трактоваться однозначно, с чётким пониманием случившейся ситуации.

При помощи программного комплекса MATLAB, прикладной программы MATLAB Simulink и на основе расчётных данных построим математическую модель системы поддержания давления в напорном трубопроводе НОВ-2, модель показана на рисунке 3.

На данной математической модели собран блок логики, на основе которого формируются сигналы включения и отключения насосных агрегатов, а также при каждом цикле включения отключения насосов происходит смена насоса, работающего при помощи частотного преобразователя, тем самым учитывается необходимость смены рабочего агрегата для учёта моторесурса насосной установки.

При помощи пакета MATLAB была синтезирована математическая модель и получен график переходных процессов, отображённый на рисунке 4.

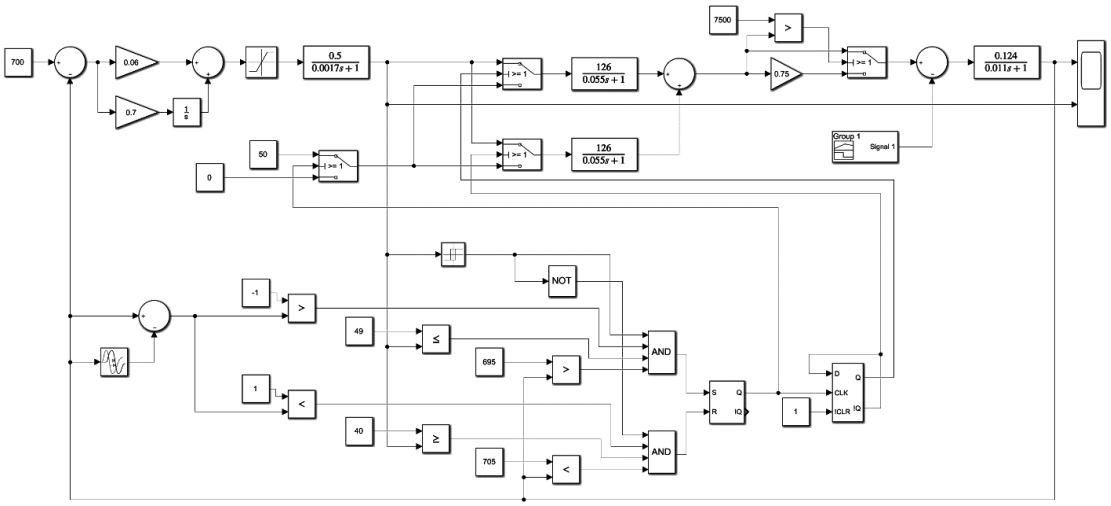


Рис. 3 – Модель системы управления

На данном графике моделируется ситуация подключения второго двигателя в связи с резким увеличением отбора воды для нужд обогатительной фабрики. В последствии происходит обратная ситуация уменьшения отбора воды обогатительной фабрикой и отключением от сети 6кВ одного насосного агрегата.

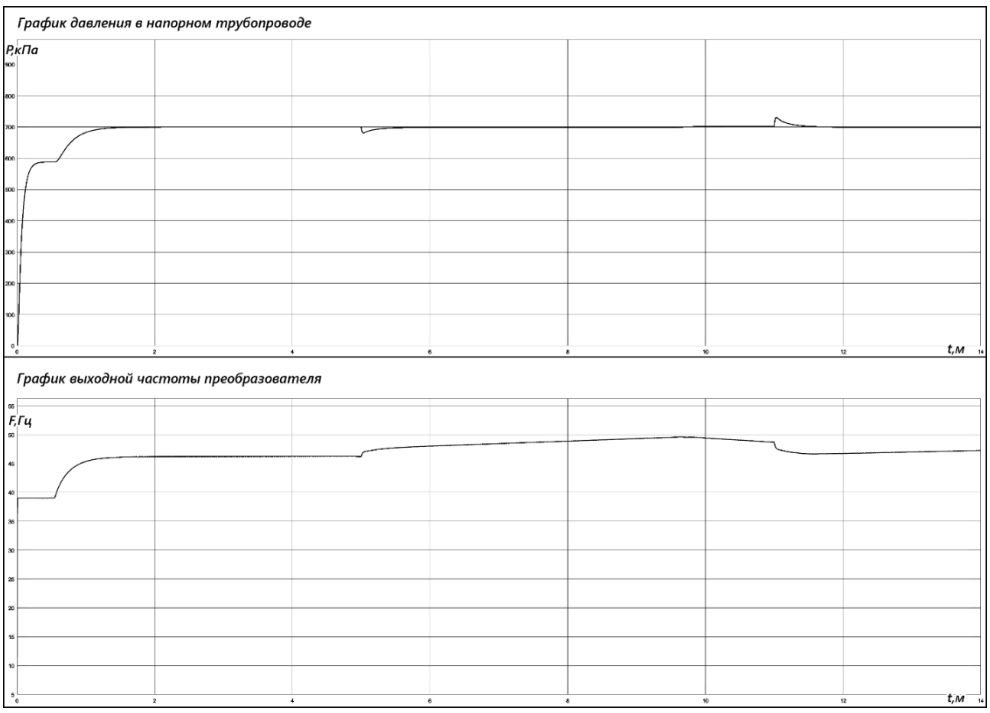


Рис. 4 – Результаты моделирования

Модернизация АСУТП должна обеспечивать пуск и остановку насоса при поступлении управляющего импульса и аварийное отключение насоса при срабатывании электрических и технологических защит.

Все вспомогательные операции (открывание и закрывание задвижек, заливка насосов, охлаждение подшипников и т.д.), связанные с пуском и остановкой насосов, а также включением резервных насосных агрегатов, за исключением агрегатов станций третьей категории надежности действия, должны выполняться автоматически.

При аварийном отключении насоса в результате действия защитных устройств схемы управления насосами с пуском и остановкой на закрытую задвижку должны обеспечивать последующее автоматическое закрывание задвижки. При неисправности задвижки в процессе пуска насос следует отключить.

Так же должно быть предусмотрено автоматическое отключение рабочих насосов при затоплении машинного зала.

Для насосных установок с переменным режимом работы необходимо предусматривать возможность регулирования выходных параметров (давления, подачи) насосных агрегатов.

Режим работы насосной установки предполагается регулировать изменением количества работающих агрегатов и изменением частоты вращения насосов.

Обязательное применение систем визуализации технологических процессов, реализация диспетчерского удалённого управления, систем архивирования и логирования событий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Средства автоматизации и управления: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Автоматизация технологических процессов и производств" / Кузнецов В.Н., Кривоносов В.А., Есилевский В.С./ - Старый Оскол: "ТНТ", 2017. – 356 с – Текст: непосредственный.

2. ГОСТ 21.208-2013 Система проектной документации для строительства (СПДС). Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. [Электронный ресурс] – режим доступа - URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/56652/(Дата обращения 24.03.2026).

РАЗРАБОТКА ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ: АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Хуссейн М. К., студент 4 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Симонова А.Г.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В современном мире электронная коммерция стала неотъемлемой частью повседневной жизни. Особенно это касается сегмента компьютерной техники и комплектующих, где покупатели нуждаются в оперативной информации о характеристиках, ценах и наличии товаров. В городе Старый Оскол работает несколько магазинов компьютерной техники: DNS, Citilink, М-Видео, а также небольшие частные точки продаж. Однако большинство из них либо не имеют собственных интернет-магазинов, либо их веб-ресурсы перегружены информацией, сложны для начинающих пользователей и не предоставляют возможности отслеживать статус заказа без регистрации. Кроме того, отсутствует единая платформа, где клиент мог бы быстро сравнить цены, получить прозрачную информацию о скидках и акциях, а также оформить заказ в несколько кликов.

Анализ существующих недостатков. В ходе предпроектного обследования были выявлены следующие основные недостатки текущей ситуации (как в традиционных магазинах, так и в существующих интернет-ресурсах) [1]:

1. Отсутствие специализированного интернет-магазина компьютерной техники в г. Старый Оскол, ориентированного на локального покупателя, что вынуждает клиентов либо тратить время на поездки по городу, либо пользоваться сложными федеральными площадками.
2. Невозможность отследить статус заказа без регистрации на большинстве сайтов, что снижает доверие и удобство для разовых покупателей.
3. Отсутствие прозрачной системы скидок и акций с указанием срока действия, а также автоматического расчёта ожидаемой даты доставки.
4. Дублирование информации о заказах вручную (в небольших магазинах), что приводит к ошибкам, задержкам и дополнительной нагрузке на персонал.

Целью работы является создание интернет-магазина компьютерной техники, который устранит выявленные недостатки. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

– разработать удобный каталог товаров (процессоры, видеокарты, оперативная память, накопители, кабели, мыши и клавиатуры) с фильтрацией по производителю и отображением остатков на складе;
– реализовать возможность оформления заказа без обязательной регистрации, а также создание личного кабинета для постоянных клиентов с сохранением истории заказов и адресов доставки;
– обеспечить генерацию уникального номера заказа и возможность отслеживания его статуса (новый → в обработке → сборка → в пути → доставлен) без авторизации;
– добавить автоматический расчёт ожидаемой даты доставки на основе текущего статуса;
– создать панель администратора для управления товарами, акциями (с установкой периода действия) и заказами (изменение статуса).

Моделирование бизнес-процессов и вариантов использования. Для наглядного представления функциональности системы разработаны три диаграммы [2].

На рисунке 1 представлена организационная структура интернет-магазина, выделяющая три типа пользователей: гость (неавторизованный посетитель), зарегистрированный пользователь и администратор.

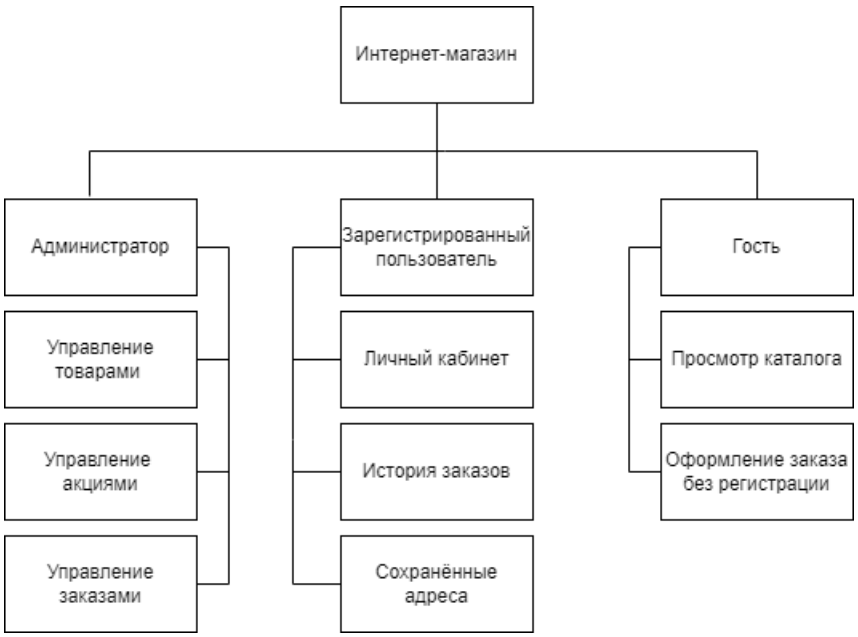


Рис. 1 – Организационная структура интернет-магазина

На рисунке 2 представлена диаграмма существующего бизнес-процесса «Покупка товара» (AS-IS) в нотации eEPC, которая отражает текущую ситуацию при отсутствии автоматизированной системы. Клиент вынужден лично посещать магазин, выяснять наличие и цену, и в случае отсутствия товара – уходить без покупки.

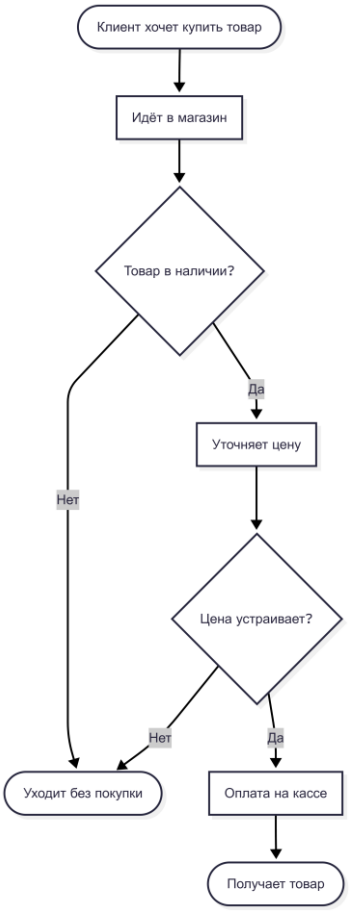


Рис. 2 – Диаграмма существующего бизнес-процесса «Покупка товара» (AS-IS)

На рисунке 3 приведена диаграмма вариантов использования (use case diagram), которая показывает, какие функции система предоставляет каждому типу пользователей. Гость может просматривать каталог, фильтровать товары, добавлять их в корзину, оформлять заказ без регистрации и отслеживать заказ по номеру. Зарегистрированный пользователь дополнительно получает доступ к личному кабинету, истории заказов и сохранённым адресам. Администратор управляет товарами, акциями и заказами.

Рис. 2 – Диаграмма вариантов использования (use case diagram)

Выбор технологий. Для реализации системы выбраны следующие технологии: PHP (язык программирования), Microsoft SQL Server (система управления базами данных), HTML, CSS, JavaScript. Выбор PHP обусловлен его простотой, интеграцией с HTML и широкой поддержкой на большинстве хостингов [3]. SQL Server обеспечивает высокую производительность и безопасность данных. Отказ от использования готовых CMS-систем (WordPress, Joomla) позволяет продемонстрировать самостоятельную разработку и полный контроль над функциональностью, что является важным требованием для выпускной квалификационной работы.

В результате исследовательской работы разработана архитектура интернет-магазина компьютерной техники, определены функциональные требования, построены модели бизнес-процессов (AS-IS) и вариантов использования. Система позволит автоматизировать оформление заказов, управление товарами и акциями, а также предоставит клиентам удобный инструмент отслеживания доставки. Дальнейшее развитие проекта включает реализацию программного кода, тестирование и внедрение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Вендров А.М. Проектирование программного обеспечения. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 560 с.

2 Гома Х. UML. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределённых приложений. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 704 с.

3 Официальная документация PHP [Электронный ресурс]. – Режим доступа:https://www.php.net/docs.php, свободный (Дата обращения: 04.04.2026 г.)

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ВОДОГРЕЙНЫМ КОТЛОМ ASA-1200 ООО «МАКАРОННАЯ ФАБРИКА

Цапков А.И., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н., доцент **Халапян С.Ю.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

На промышленной котельной ООО «Макаронная фабрика» установлен водогрейный котел ASA-1200, схема которого приведена на рисунке 1.

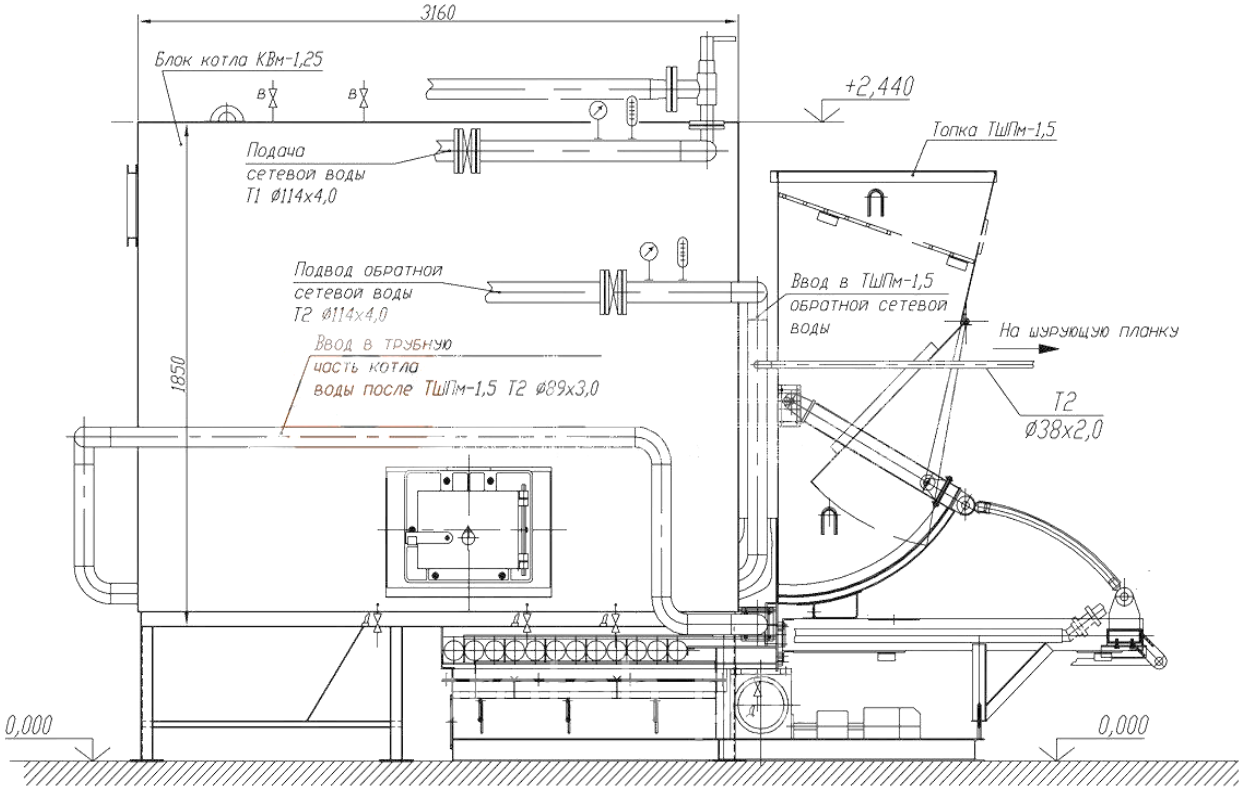


Рис. 1 – Водогрейный котел ASA –1200

Котлы для получения перегретой воды, модель ASA–1200 – это блочные котлы нагнетательного сгорания топлива: образующиеся во время сгорания топлива топочные газы возвращаются во фронтальную секцию котла и поступают в трубный пучок через полость в дверной теплоизоляции. Турбуляторы вызывают турбулентное перемещение топочных газов, что повышает конвекционную передачу тепла и обеспечивает максимальную тепловую абсорбцию без вредных тепловых напряжений. После трубного пучка дымовые газы собираются в торцовой камере, откуда они вытягиваются в атмосферу через дымовую трубу. Котёл может комплектоваться любой, работающей на обычном жидком или газообразном топливе горелкой. Котлы ASA изготовляются и испытываются согласно промышленным стандартам Италии ISPESL.

Стационарный водогрейный котел ASA –1200 предназначен для выработки перегретой воды для использования в основных производствах предприятия, горячего водоснабжения и для собственных нужд котельной.

Существующая АСУТП котельной ООО «Макаронная фабрика» выполняет непрерывный контроль и регулирование следующих параметров:

- температура дымовых газов;

- разряжение в топочной камере;
- давление на подводящих участках воздухопровода и газохода к горелкам;
- общее давление в магистралях воздуха и газа;
- давление и температура питательной и отходящей воды;
- расход воды, газа и воздуха.

Обследование котла, используемого в ООО «Макаронная фабрика», позволило выявить недостатки системы управления.

Основной проблемой существующей системы автоматизации является её неоднородный, «лоскутный» характер. Замена вышедшего из строя оборудования часто проводилась выборочно, на основе доступности техники, а не по единой проектной схеме. Это привело к использованию аппаратуры разных производителей и поколений.

Так, для измерения расхода и давления в контуре теплоносителя применяются датчики ДМ-3583, в то время как в газовом и воздушном трактах аналогичные замеры выполняются датчиками «МЕТРАН-150». Для контроля температуры используется термопреобразователь сопротивления Pt100 типа K «GKF 250». Сбор данных и управление технологическим процессом осуществляет контроллер Siemens серии S7-200.

Целью предлагаемой модернизации АСУТП является повышение надёжности работы оборудования АСУТП, расширение возможностей по диагностике оборудования, датчиков и исполнительных механизмов. Цель достигается заменой технических средств автоматизации на более современные, а также изменением программного обеспечения. Для выполнения этой задачи необходимо:

1. Установить контроллеры способные интегрироваться в технологическую сеть нижнего уровня. Программное обеспечение, заложенное в контроллеры, в автоматическом режиме должно контролировать основные технологические параметры и выдавать соответствующие предупредительные сигналы.

2. Организовать автоматизированное рабочее место оператора АСУТП, подключенное в технологическую сеть верхнего уровня. На АРМ должна быть установлена система визуализации на базе современной SCADA-системы с графическими элементами, отображающими состояние технологических агрегатов и параметров технологического процесса с возможностью просмотра архивных значений основных параметров и показаний датчиков в виде графиков и чтения аварийных сообщений.

3. Заменить морально устаревшее оборудование на более современное, отвечающее предъявляемым требованиям.

На рисунке 2 представлена функциональная схема контура регулирования температуры.

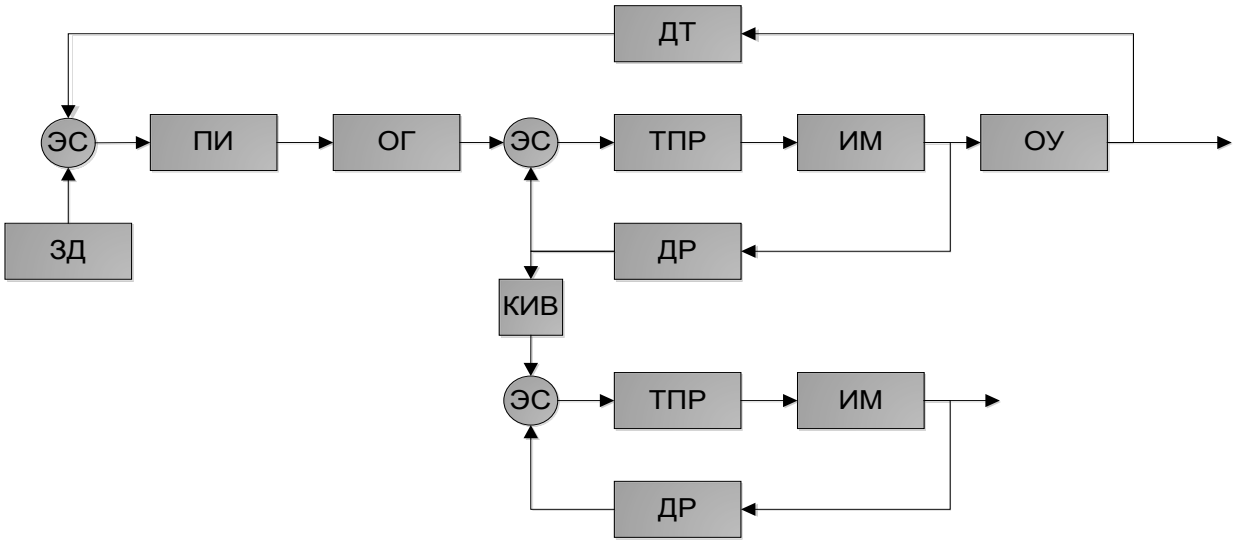


Рис. 2 – Функциональная схема САУ

Контур регулирования температуры включает в себя два вложенных контура, задания для которых рассчитываются ПИ-регулятором. Вложенные контуры регулирования расходов газа и воздуха идентичны друг другу и включают трехпозиционные реле, которые управляют исполнительными механизмами. Измерение температуры и расходов производится посредством соответствующих датчиков.

На схеме автоматизации (рис. 3) отражены все используемые исполнительные механизмы и датчики, а также таблица их подключений к контроллерам управления и противоаварийной защиты.

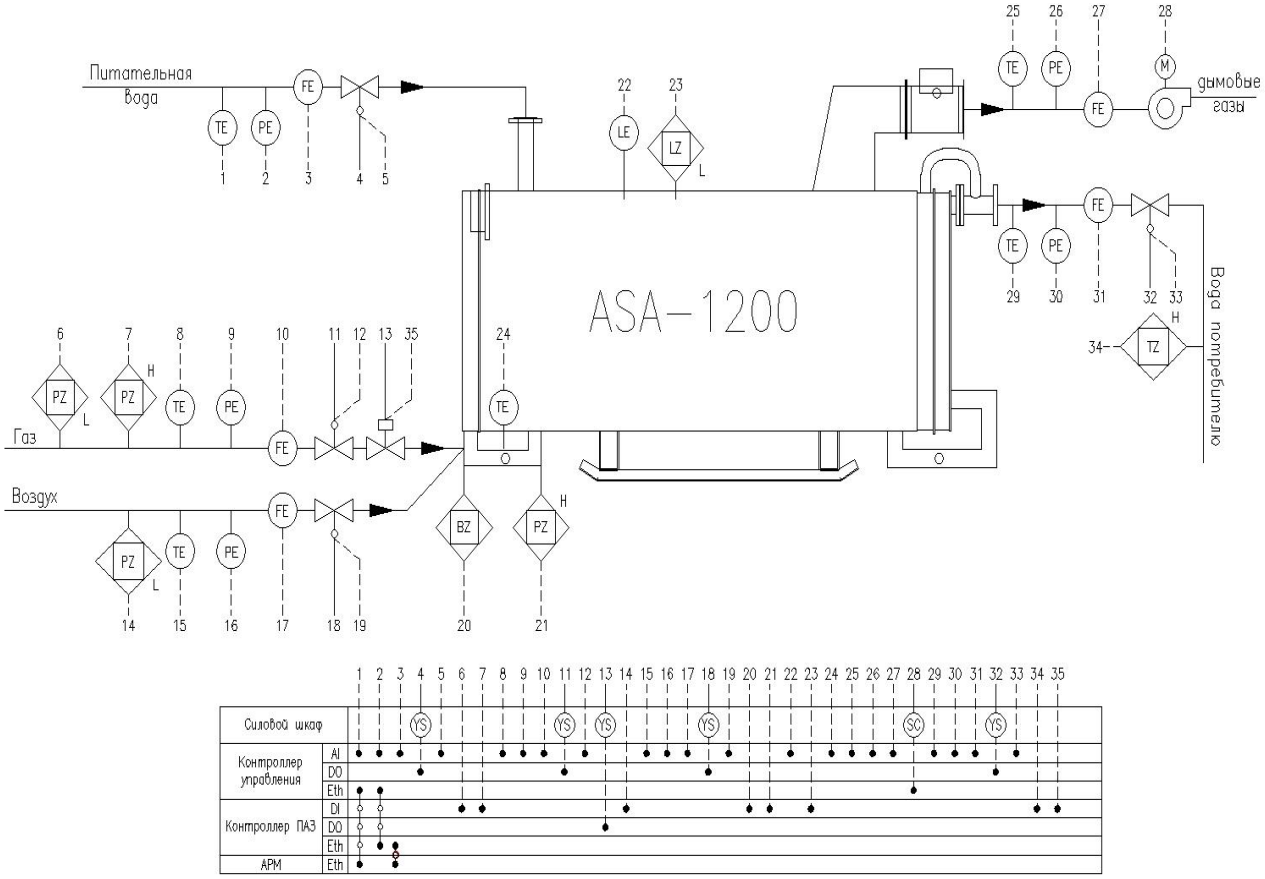


Рис. 3 – Схема автоматизации

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойко Е.А. Котельные установки : учебное пособие – М., Вологда: Инфра-Инженерия, 2025.
2. Доронин В.А., Буйлов Г.П. Автоматизированые системы управления теплоэнергетических процессов и процессов отрасли. – СПб, 2001.
3. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий. – М.: Бастет, 2009.

ПОЛИМЕРЫ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КАЧЕСТВЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Часовских П.С., студент 1 курса
Научный руководитель - к.п.н., доцент **Мякотина М.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Современные телекоммуникационные системы, радиолокация и спутниковая связь предъявляют повышенные требования к материалам, используемым в качестве диэлектрических подложек, изоляторов кабелей и элементов антенных устройств. На высоких (ВЧ) и сверхвысоких частотах (СВЧ) свойства традиционных полимерных материалов изменяются: возрастают диэлектрические потери, снижается стабильность диэлектрической проницаемости. В связи с этим актуальной задачей является выбор таких полимеров, которые сохраняют электрофизические характеристики в диапазоне частот до 10 ГГц и выше. Цель данной работы - систематизировать сведения о полимерах, применяемых в качестве высокочастотных диэлектриков, и обосновать критерии их выбора с позиции молекулярного строения. Анализ литературных данных [1-3] показывает, что определяющую роль при этом играет полярность макромолекул.

На высоких частотах важнейшими параметрами диэлектрика являются: относительная диэлектрическая проницаемость (ε'); тангенс угла диэлектрических потерь (tg δ); температурная стабильность указанных характеристик; влагостойкость.

Чем меньше ε', тем выше скорость распространения электромагнитного сигнала в материале. Ключевым критерием является tg δ, который на СВЧ не должен превышать 10^{-3} для большинства устройств. Физическая причина возрастания потерь - дипольно-релаксационная поляризация. Если молекула полимера обладает постоянным дипольным моментом, то в переменном поле высокой частоты диполи не успевают переориентироваться, что приводит к рассеянию энергии в виде тепла. Поэтому высокочастотные диэлектрики должны быть неполярными или иметь строго скомпенсированный дипольный момент звена. Как отмечено в учебном пособии [4], именно структура макромолекулы определяет характер поляризации в переменных полях.

Среди всех полимеров наилучшими ВЧ-характеристиками обладают фторполимеры, прежде всего политетрафторэтилен (ПТФЭ). Его макромолекула имеет формулу:

$$[-CF_2 - CF_2 -]_n$$

Благодаря полной симметрии звена суммарный дипольный момент равен нулю. ПТФЭ обладает ε' = 2,1 и tg δ = 0,0002…0,0005 на частотах до 10 ГГц. Эти значения близки к параметрам вакуума. Дополнительным преимуществом является химическая инертность и низкое влагопоглощение (менее 0,01 %). Однако ПТФЭ имеет недостатки - холодную текучесть и сложность металлизации. Для устранения этих недостатков используются сополимеры, например, фторированный этиленпропилен (ФЭП), который перерабатывается литьём под давлением, сохраняя tg δ на уровне 0,0005…0,0007.

Важно отметить, что не всякий фторполимер пригоден для ВЧ. Так, поливинилиденфторид (ПВДФ) является полярным из-за чередования групп CH_2 и CF_2 и имеет высокие потери (tg δ> 0,1 на СВЧ). Это подтверждает правило: решающее значение имеет симметрия строения, а не наличие атомов фтора. Аналогичные выводы представлены в источнике [4].

Полиолефины - полиэтилен (ПЭ) и полипропилен (ПП) - также являются неполярными. Их характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Диэлектрические свойства полиолефинов

Материал	ε' (1 МГц)	tg δ (1 МГц)	Макс. температура, °C
ПЭНП	2,3	0,0003	80
ПЭВП	2,3	0,0003	90
ПП	2,2	0,0003…0,0005	110
ПМП (TPX)	2,12	0,0004	150

Полиметилпентен (ПМП) выделяется особенно низкой ε' = 2,12, что объясняется низкой плотностью упаковки макромолекул. Однако низкая теплостойкость ограничивает применение полиолефинов [5].

В тех случаях, когда требуется работа при повышенных температурах (до 200…250 °C), используются ароматические полимеры: полиимиды (ПИ), полиэфирэфиркетон (ПЭЭК) и полифениленсульфид (ПФС). Их диэлектрические параметры несколько хуже: ПИ: ε' = 3,2…3,5, tg δ = 0,003…0,008 (при 10 ГГц); ПЭЭК: ε' = 3,2, tg δ = 0,002…0,003 (до 20 ГГц).

Тем не менее, высокая механическая прочность и термостойкость делают их незаменимыми в жёстких условиях эксплуатации. ПФС отличается минимальным влагопоглощением (менее 0,02 %), что критически важно для стабильности ВЧ-параметров во влажной среде.

Температурная зависимость tg δ для полярных и неполярных полимеров принципиально различна. У неполярных полимеров (ПТФЭ, ПЭ) потери незначительно растут только при приближении к температуре плавления. У полярных полимеров наблюдается максимум потерь в области температур стеклования, что делает их непригодными для ВЧ. Частотная зависимость описывается формулой Дебая для комплексной диэлектрической проницаемости [1]:

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + i\omega\tau} \qquad (1)$$

где ε_s - статическая диэлектрическая проницаемость, ε_∞- оптическая, τ - время релаксации, ω - циклическая частота. Для высокочастотной работы необходимо, чтобы τ было очень малым (отсутствие тяжёлых диполей). В неполярных полимерах релаксационные потери в рабочем диапазоне частот практически отсутствуют, поэтому формула (1) вырождается в ε' = ε_∞≈ 2,1…2,4.

Для оценки пригодности полимера в качестве высокочастотного диэлектрика недостаточно знать только его электрофизические параметры при комнатной температуре. Реальные устройства работают в широком диапазоне температур, и диэлектрические свойства могут существенно изменяться при фазовых переходах. Как отмечается в учебнике [5], термическая стабильность полимеров напрямую связана с их диэлектрическими свойствами. На рис. 1 представлены типичные данные термического анализа, полученные методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) для одного из исследуемых полимерных образцов.

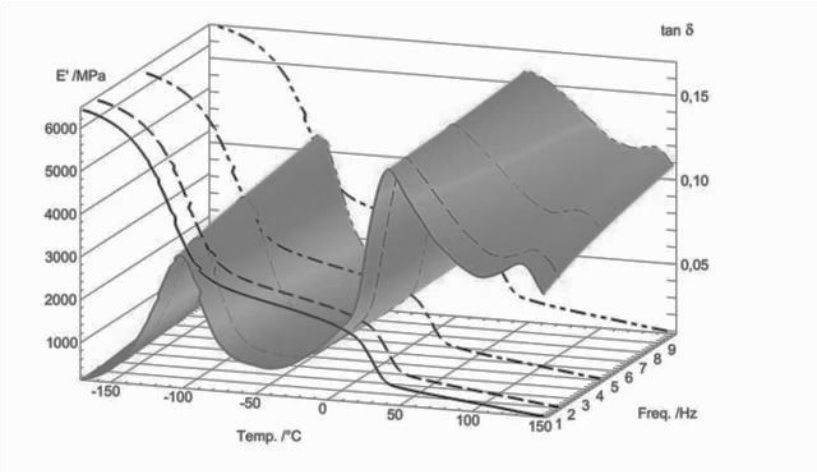


Рис. 1 – Результаты термического анализа полимерного образца

(На рисунке представлены числовые данные зависимости теплового потока от температуры: при температурах 50, 100, 150 °C наблюдаются эндотермические пики, соответствующие фазовым переходам - стеклованию и плавлению.)

Из представленных на рис. 1 данных видно, что полимер сохраняет стабильность структуры в интервале от -50 до +100 °C. Выше этой температуры начинаются релаксационные процессы, которые приводят к увеличению диэлектрических потерь. Поэтому для высокочастотных применений критически важно, чтобы рабочий диапазон устройства не включал области фазовых переходов материала.

Современные требования (5G, миллиметровый диапазон) стимулируют разработку новых полимерных систем. Наиболее перспективны жидкокристаллические полимеры (ЖКП, LCP). Благодаря высокой ориентационной упорядоченности цепей в направлении экструзии они обеспечивают: ε' = 2,9…3,1; tg δ = 0,0008…0,002 на частотах до 60 ГГц; очень низкое влагопоглощение (0,02…0,04 %).

ЖКП уже используются в гибких кабелях и миниатюрных антеннах. Второе направление - композиты на основе ПТФЭ или полиолефинов с керамическими наполнителями (TiO_2, $BaTiO_3$). Такие композиты позволяют получить высокую ε' (до 10…12) при сохранении tan δ на уровне 0,001…0,003, что необходимо для уменьшения размеров антенн.

В результате проведённого анализа установлено, что основным требованием к полимерному высокочастотному диэлектрику является отсутствие полярных групп и симметричное строение макромолекулы, обеспечивающее нулевой дипольный момент звена [1–3]. Наилучшими характеристиками среди всех рассмотренных материалов обладает политетрафторэтилен (ПТФЭ) с тангенсом угла диэлектрических потерь 0,0002…0,0005 и относительной диэлектрической проницаемостью 2,1, что делает его эталонным материалом для работы в СВЧ-диапазоне. Для более дешёвых и технологичных применений на частотах до 1…3 ГГц могут использоваться полиэтилен и полипропилен, однако их низкая теплостойкость ограничивает область применения [5]. В условиях повышенных температур (200 °C и выше) применяются ароматические полимеры (ПЭЭК, ПИ), которые, несмотря на несколько более высокие диэлектрические потери, незаменимы в жёстких условиях эксплуатации. Перспективными материалами являются жидкокристаллические полимеры для миллиметрового диапазона (5G и выше) и композиционные системы с управляемой диэлектрической проницаемостью. При этом, как показывают данные термического анализа (рис. 1), температурная стабильность полимера не менее важна, чем его низкий тангенс угла потерь, поскольку фазовые переходы и релаксационные процессы приводят к резкому ухудшению электрофизических характеристик. Таким образом, выбор конкретного полимера для высокочастотных применений всегда представляет собой компромисс между электрофизическими свойствами, тепловой стабильностью и технологичностью переработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартенев Г. М., Зеленев Ю.В. Физика и механика полимеров: учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1983. – 391 с. [Использованы с. 125–130, 210–215]

2. Борисова М. Э., Койков С.Н. Физика диэлектриков: учеб. пособие. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1979. – 240 с. [Использованы с. 98–102, 150–155]

3. Кулезнев В.Н., Шершнев В. А. Химия и физика полимеров: учеб. для хим.-технол. вузов. – М.: Высшая школа, 1988. – 312 с. [Использованы с. 85–90, 120–125]

4. Гороховатский Ю.А., Карулина Е.А., Темнов Д.Э. Физика полимерных диэлектриков: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2013. – 124 с. [Использованы с. 45–50, 67–72]

5. Колесов С. Н., Колесов И. С. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2007. – 535 с. [Использованы с. 300–305, 310–315]

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КУПЛИ-ПРОДАЖИ РЕКЛАМЫ В TELEGRAM НА ОСНОВЕ MINI APP

Швидун Д.А., студент 4 курса
Научный руководитель – старший преподаватель **Лазарева Т.И.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Современный рынок цифровых коммуникаций характеризуется стремительным ростом популярности мессенджеров, среди которых особое место занимает Telegram. Благодаря высокой вовлечённости аудитории и развитой инфраструктуре, включающей ботов и Mini Apps, Telegram-каналы стали востребованной площадкой для размещения рекламы. Однако процессы купли-продажи рекламных размещений зачастую остаются неавтоматизированными: бронирование слотов осуществляется вручную, расчёты производятся вне гарантий, а анализ эффективности затруднён. Это создаёт предпосылки для создания специализированной информационной системы, способной упорядочить взаимодействие участников и повысить прозрачность сделок. Целью настоящей работы является проведение анализа эффективности создания информационной системы для автоматизации купли-продажи рекламы в Telegram-каналах на базе Telegram Mini App [1, 2].

Рынок рекламы в Telegram-каналах устойчиво растёт. Мессенджер с миллиардной аудиторией стал востребованной рекламной площадкой, однако процессы взаимодействия между владельцами каналов и рекламодателями остаются преимущественно ручными: бронирование слотов происходит через личные сообщения, оплата — переводами на карты, а статистика предоставляется в виде скриншотов. Это порождает высокие риски мошенничества, двойного бронирования и невозможность масштабирования. Выявленные проблемы формируют бизнес-идею стартапа — создание автоматизированной информационной системы, выступающей в роли надёжного посредника между участниками рынка. Платформа реализуется в формате Telegram Mini App, что обеспечивает доступность и удобство для пользователей без необходимости покидать мессенджер.

Способ приобретения информационной системы — аутсорсинг разработки. Команда из четырёх специалистов (бэкенд-, фронтенд-разработчик, UI/UX-дизайнер, DevOps-инженер) выполнила работы общей трудоёмкостью 730 человеко-часов. Затраты на оплату труда составили 931 000 руб., в том числе: бэкенд-разработчик — 420 000 руб. (300 ч × 1 400 руб./ч), фронтенд-разработчик — 325 000 руб. (250 ч × 1 300 руб./ч), UI/UX-дизайнер — 114 000 руб. (120 ч × 950 руб./ч), DevOps-инженер — 72 000 руб. (60 ч × 1 200 руб./ч). Часовые ставки определены по данным Хабр Карьеры и HeadHunter за I квартал 2026 г. [3, 4].

Помимо оплаты труда, в состав прямых (капитальных) затрат вошли инфраструктура и ПО (120 120 руб.), а также правовое и организационное оформление (39 400 руб.). Операционные (текущие) затраты включили поддержку и администрирование сервера (60 000 руб.), техническую поддержку с доработками (139 650 руб.) и маркетинг (200 000 руб.) [5, 6].

Расчёт совокупной стоимости владения (TCO) выполнен на первый год эксплуатации системы. Результаты расчёта представлены в таблице 1.

Таблица 9 – Совокупная стоимость владения ИС

Категория затрат	**Затраты**	**Сумма, руб.**	**Доля, %**
Прямые (капитальные) затраты	Разработка MVP	931 000	62,5 %
	Инфраструктура и ПО	120 120	8,1 %
	Правовые и организационные	39 400	2,6 %
	Итого прямые затраты	**1 090 520**	**73,2 %**

Операционные (текущие) затраты	Поддержка и администрирование	60 000	4 %
	Техническая поддержка и доработки	139 650	9,4 %
	Платежный агрегатор	–	–
	Маркетинг	200 000	13,4 %
	Итого операционные затраты	**399 650**	**26,8 %**
ИТОГО ДЕНЕЖНЫЕ ЗАТРАТЫ		**1 490 170**	**100 %**

Доходная модель основана на двух источниках: комиссия с каждой рекламной сделки (10% от стоимости размещения) и премиум-подписка. Средняя стоимость размещения принята равной 4 000 руб., доход с одной сделки — 400 руб. Прогноз доходов по годам представлен в таблице 2.

Таблица 10 – Прогноз доходов по годам

Показатель	**1-й год**	**2-й год**	**3-й год**
Количество сделок	960	5 400	7 200
Доход от комиссии (400 руб./сделку), руб.	384 000	2 160 000	2 880 000
Доход от премиум-подписки, руб.	36 000	180 000	360 000
Итого выручка, руб.	**420 000**	**2 340 000**	**3 240 000**

Ставка дисконтирования рассчитана с учётом ключевой ставки ЦБ РФ (15% по состоянию на март 2026 г. [7]) и инфляции (5,91% по состоянию на февраль 2026 г. [7]) и составила 21,8%. На основе денежных потоков рассчитаны ключевые показатели эффективности, представленные в таблице 3.

Таблица 11 – Показатели эффективности

Показатель	**Значение**
Чистая приведённая стоимость (NPV), руб.	+1 074 864
Рентабельность инвестиций (ROI), %	140,7
Дисконтированный срок окупаемости, лет	2,12

На рисунке 1 представлен график динамики накопленного дисконтированного денежного потока, отражающий окупаемость проекта. Точка пересечения графика с осью абсцисс соответствует моменту окупаемости — 2,12 года.

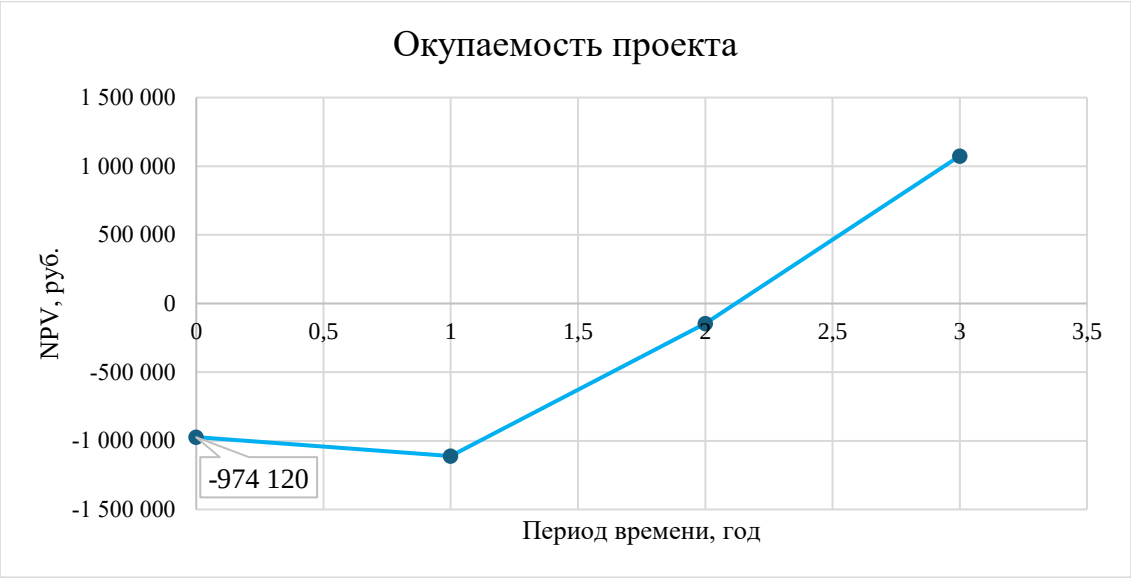


Рис.25 – Динамика накопленного дисконтированного денежного потока

Для систематизации рисков использована классификация Института инженерии программного обеспечения (SEI). Выявлено 8 ключевых рисков, наиболее критическими из которых являются: недостаток финансирования, блокировка Telegram, изменение требований и низкая готовность пользователей. Идентификация и оценка рисков представлены в таблице 4.

Таблица 12 – Идентификация рисков проекта

№	Категория (SEI)	Риск
А. Инженерия системы		
1	Требования	Изменение требований к функциональности платформы
2	Проект (сложность)	Технические проблемы при интеграции с Telegram API или платёжной системой
Б. Реализация проекта		
3	Процесс управления	Ошибки в планировании маркетинговых кампаний, неэффективное распределение бюджета
4	Внешнее окружение	Изменение политики Telegram
В. Организационные и бизнес-условия		
5	Ресурсы проекта	Недостаток финансирования
6	Характеристика клиента	Низкая готовность владельцев каналов и рекламодателей переходить на новую платформу
7	Субъекты проекта	Смена ключевых разработчиков
8	Внешняя среда (политические/регуляторные риски)	Блокировка Telegram на территории РФ или введение законодательных ограничений

Для наглядного представления распределения рисков по двум параметрам — вероятности и степени влияния — построена лепестковая диаграмма (рисунок 3). На диаграмме каждый луч соответствует отдельному риску. Синяя линия показывает вероятность реализации риска в процентах, а оранжевая — степень влияния на проект в баллах (4 — катастрофическое, 3 — критическое, 2 — ощутимое, 1 — несущественное).

Рис. 26 – Лепестковая диаграмма оценки рисков проекта

Анализ лепестковой диаграммы показывает, что наибольшую опасность представляют риски блокировки Telegram и недостатка финансирования, которые расположены дальше всего от центра диаграммы. Для каждого риска разработаны мероприятия по снижению: создание резервного фонда, мониторинг законодательства, разработка инструкций и обучающих материалов.

С учётом выявленных рисков ставка дисконтирования увеличилась до 53,8%, чистая приведённая стоимость (NPV) снизилась до 129 267 руб., но осталась положительной, а дисконтированный срок окупаемости составил 2,79 года. На рисунке 3 представлен график динамики накопленного дисконтированного денежного потока с учётом рисков. Точка пересечения графика с осью абсцисс соответствует моменту окупаемости — 2,79 года (около 2 лет и 9,5 месяцев).

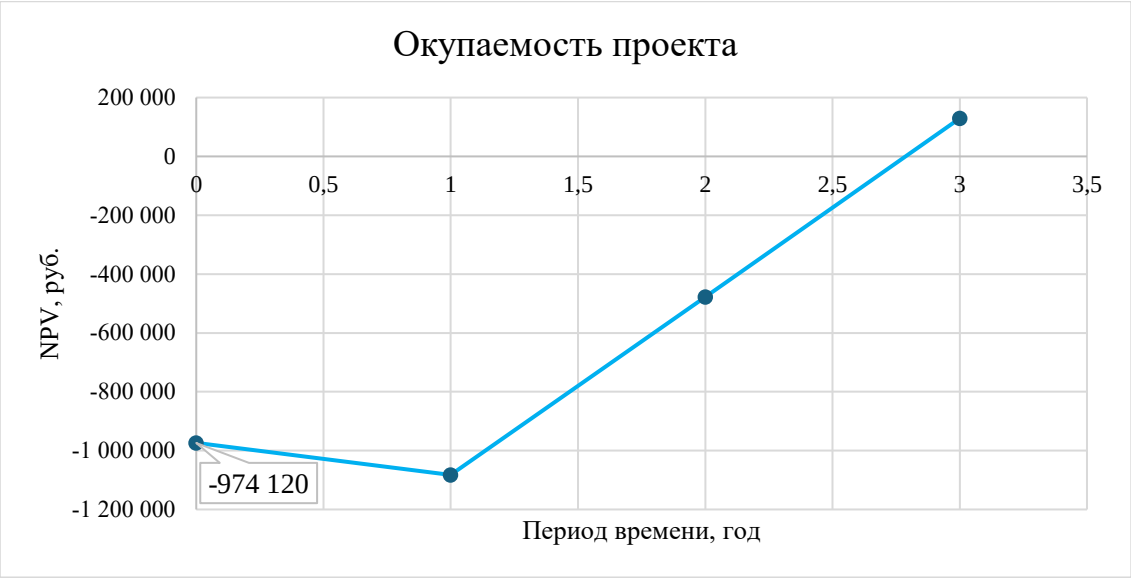


Рис. 27 – Динамика накопленного дисконтированного денежного потока с учётом рисков

Анализ графика показывает, что даже с учётом рисков кумулятивный дисконтированный денежный поток становится положительным в пределах трёхлетнего горизонта расчёта, что подтверждает экономическую целесообразность реализации проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Telegram. Официальная документация разработчика Telegram Bot API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://core.telegram.org/bots/api.

2. Telegram. Документация по созданию Telegram Mini Apps [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://core.telegram.org/bots/webapps.

3. Хабр Карьера. Исследования рынка труда и зарплат IT-специалистов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://career.habr.com/statistics.

4. HeadHunter. Аналитика и исследования рынка труда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://stats.hh.ru/.

5. Timeweb Cloud. Облачная инфраструктура для бизнеса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://timeweb.cloud/.

6. Selectel. Акция на регистрацию доменов .ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://selectel.ru.

7. Банк России. Инфляция и ключевая ставка Банка России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cbr.ru/hd_base/infl/.

ПРЕПОДАВАНИЕ ИНФОРМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ В РАМКАХ ФЕДЕРАЛЬНОГО ПРОЕКТА «ПРОФЕССИОНАЛИТЕТ»: ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ

Шелудкова О.С., преподаватель
Областное государственное автономное профессиональное образовательное учреждение «Старооскольский индустриально-технологический техникум»,
Россия, г. Старый Оскол

В условиях цифровой трансформации экономики и промышленности возрастает потребность в специалистах среднего звена, владеющих не только узкопрофессиональными навыками, но и компетенциями в области информатики и информационных технологий (ИТ). ОГАПОУ «Старооскольский индустриально-технологический техникум», участвуя в федеральном проекте «Профессионалитет» по направлениям «Горное дело» и «Машиностроение», реализует комплексную модель преподавания информатики, интегрирующую ИТ-компетенции в профессиональную подготовку студентов [3; 4].

Ключевой принцип преподавания информатики в техникуме — практико-ориентированный подход, при котором теоретические знания подкрепляются решением реальных производственных задач. Учебный план включает дисциплины: «Основы информатики и вычислительной техники», «Информационные технологии в профессиональной деятельности», «Программирование в технических системах», «Базы данных и системы управления базами данных», «Автоматизированные системы проектирования (CAD/CAE)» [1; 2].

Для направления «Горное дело» особое внимание уделяется освоению специализированного программного обеспечения, используемого на горнодобывающих предприятиях. Студенты изучают геоинформационные системы (ГИС) для моделирования месторождений, пакеты для расчёта параметров буровзрывных работ, программы диспетчеризации горнотранспортного оборудования [6; 7]. На практических занятиях они отрабатывают навыки работы с реальными данными, учатся анализировать результаты моделирования и принимать решения на основе полученной информации.

Для направления «Машиностроение» акцент сделан на освоении CAD/CAE-систем (AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks) и методов компьютерного моделирования. Студенты выполняют расчёты прочности конструкций, анализируют распределение напряжений и деформаций, оптимизируют параметры деталей. Это позволяет им ещё на этапе обучения познакомиться с инструментами, которые будут использоваться на производстве [5; 8].

Важным элементом преподавания информатики является освоение программирования как инструмента решения профессиональных задач. В рамках дисциплины «Программирование в технических системах» студенты изучают основы алгоритмизации, языки программирования Python и C++, разрабатывают скрипты для автоматизации рутинных операций, создают простые приложения для расчёта технологических параметров. Такой подход формирует у обучающихся понимание того, как ИТ-инструменты могут повысить эффективность работы в их будущей профессии [3; 9].

Автоматизация учебного процесса поддерживается внедрением электронной информационно-образовательной среды (ЭИОС), включающей: систему управления обучением (LMS) Moodle, виртуальные лаборатории для удалённого выполнения практических работ, банк цифровых образовательных ресурсов, интерактивные тренажёры для отработки навыков работы с ИТ-инструментами [4; 10]. ЭИОС позволяет студентам получать доступ к учебным материалам в любое время, выполнять задания дистанционно, отслеживать свой прогресс и получать обратную связь от преподавателей.

Особое внимание уделяется формированию навыков информационной безопасности. Студенты осваивают методы защиты данных, принципы работы криптографических алгоритмов, правила безопасного поведения в сети, основы кибергигиены на производстве. Практические занятия включают разбор кейсов по защите автоматизированных систем

горнодобывающих предприятий от кибератак, моделирование угроз и разработку мер противодействия [2; 5].

Перспективные направления развития преподавания информатики включают внедрение элементов искусственного интеллекта для персонализации обучения, разработку VR/AR-тренажёров для отработки ИТ-навыков в виртуальной среде, интеграцию с отраслевыми цифровыми платформами предприятий-партнёров, расширение курсов по анализу больших данных (Big Data) и интернету вещей (IoT) для промышленных систем [9; 10].

Таким образом, преподавание информатики и ИТ в ОГАПОУ «Старооскольский индустриально-технологический техникум» строится на интеграции теоретических знаний с практическими навыками, необходимыми для профессиональной деятельности в условиях цифровой экономики. Разработанная модель может быть адаптирована для других образовательных организаций СПО, реализующих программы в рамках проекта «Профессионалитет» [1; 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего профессионального образования по специальности 09.02.07 «Информационные системы и программирование». Утверждён приказом Минпросвещения РФ от 09.12.2016 № 1547.
2. Приказ Минпросвещения РФ от 26.08.2020 № 438 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по основным программам профессионального обучения».
3. Кузнецов, Д.С. Математическое моделирование в технических системах: учебник для СПО / Д.С. Кузнецов. — М.: Академия, 2022. — 320 с.
4. Смирнов, Е.Н. Автоматизированные системы управления в образовании: теория и практика / Е.Н. Смирнов. — СПб.: Лань, 2021. — 245 с.
5. Иванов, А.В. Цифровая трансформация среднего профессионального образования: вызовы и решения / А.В. Иванов, С.П. Петров // Профессиональное образование. — 2023. — № 5. — С. 12–18.
6. ГОСТ Р 57720-2017. Информационные технологии. Обучение, образование и подготовка. Информационная модель компетенций. Основные положения. — М.: Стандартинформ, 2017.
7. Федеральный проект «Профессионалитет»: официальный портал. — URL: https://professionalitet.ru (дата обращения: 08.04.2026).
8. Brown, J.R. Digital Skills for Industry 4.0: A Competency Framework / J.R. Brown, M. Green. — London: Springer, 2022. — 180 p.
9. Smith, L.K. Data Analytics in Education: Methods and Applications / L.K. Smith. — New York: Wiley, 2021. — 210 p.
10. Методические рекомендации по внедрению цифровых технологий в образовательный процесс СПО / Под ред. Н.И. Васильевой. — М.: Минобрнауки РФ, 2023. — 85 с.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ ФИТНЕС-ТРЕНЕРА

Шиманский З.Д., студент 4 курса
Научный руководитель – к.т.н. **Соловьев А.Ю.**
Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

В современных условиях цифровизации фитнес-индустрии ключевым фактором эффективности работы персонального тренера становится автоматизация административных процессов. Особую значимость это приобретает при ведении большого количества клиентов, где необходимо контролировать антропометрические данные, программы тренировок, планы питания и динамику прогресса. Для фитнес-тренера, ведущего 20–30 клиентов одновременно, ручное ведение записей в блокнотах или таблицах Excel приводит к высокой трудоёмкости, увеличению риска ошибок, задержкам в информировании клиентов и снижению качества предоставляемых услуг.

Фитнес-тренер в своей работе решает следующие ключевые задачи: сбор и ведение антропометрических данных клиента (вес, объёмы, процент жира), составление индивидуальных программ тренировок с учётом целей (похудение, набор массы, поддержание формы), разработка планов питания (расчёт калорийности и БЖУ), отслеживание прогресса клиента во времени, ведение расписания тренировок и учёта посещаемости.

Ключевыми участниками процесса отбора являются:

1. клиент;
2. фитнес-тренер;
3. администратор фитнес-клуба;

Анализ существующей организации процесса выявил следующие недостатки:

1. высокая трудоёмкость и низкая скорость обработки данных;
2. отсутствие оперативной информации для клиента (статус прогресса, текущая программа тренировок, план питания)
3. недостаточная прозрачность динамики тренировок и питания;
4. использование бумажных дневников, требующих последующей ручной обработки;

Разработка информационной подсистемы направленна на повышение эффективности, скорости и объективности работы приёмной комиссии. На рис. 1 представлена диаграмма основных бизнес-процессов:

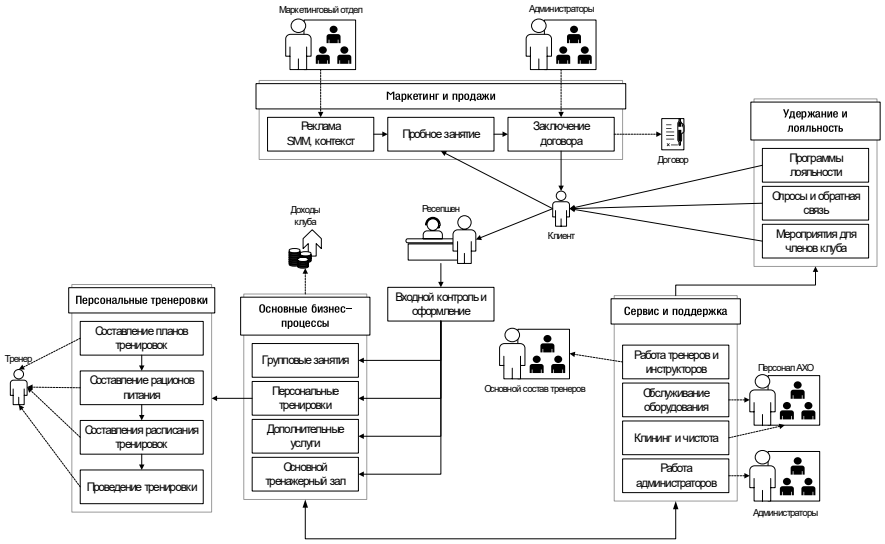


Рис. 1 – Диаграмма мнемосхемы основных бизнес-процессов

Входными данными процесса являются клиент с его целями и текущими антропометрическими параметрами. Управляющими факторами выступают методики тренировок, принципы нутрициологии и правила фитнес-клуба. В качестве механизмов используются фитнес-тренер и разрабатываемая информационная подсистема. Выходными результатами будут: индивидуальная программа тренировок, план питания и отчёты о прогрессе клиента.

В результате декомпозиции основного процесса были выделены следующие ключевые функциональные блоки:

1. Регистрация клиента и сбор антропометрических данных.
2. Составление программы тренировок.
3. Разработка плана питания.
4. Отслеживание прогресса и корректировка программ.

Следующим этапом проектирования стало построение инфологической модели (ER-диаграммы), представленной на рис. 2. Она определяет набор сущностей, их атрибуты и отношения между ними, что в совокупности составляет информационную модель разрабатываемой системы.

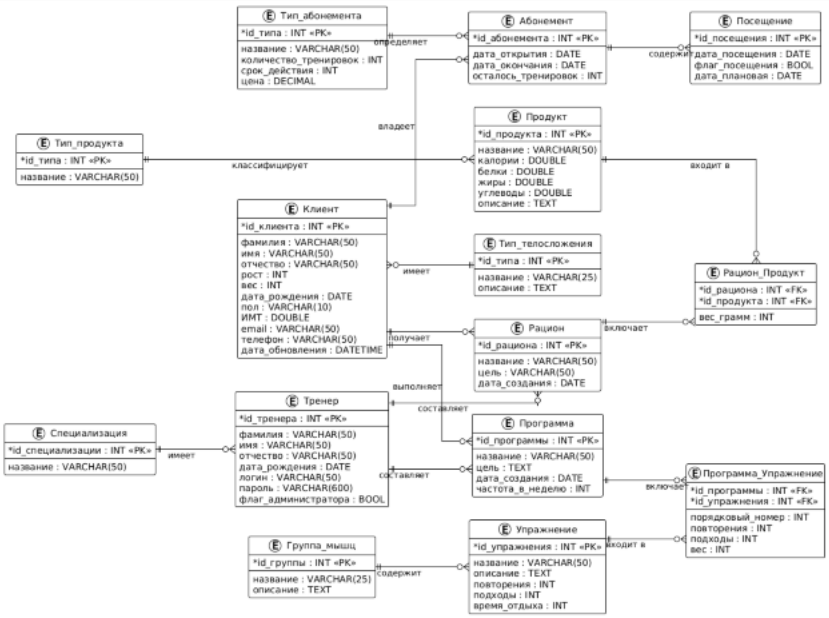


Рис. 2 – Диаграмма классов системы

Ключевые сущности включают: Тренер, Клиент, Антропометрия, Программа тренировок, Рацион питания, Тренировка. Каждая сущность выполняет конкретную функцию в системе обработки данных клиента, составления программ и отслеживания прогресса.

Разрабатываемая информационная система реализована как десктопное приложение с архитектурой «клиент-сервер». Выбран следующий стек технологий:

1. язык программирования: C# (реализация бизнес-логики и пользовательского интерфейса);
2. среда разработки: Microsoft Visual Studio 2022;
3. база данных: Microsoft SQL Server (хранение данных клиентов, программ, замеров);
4. технология доступа к данным: ADO.NET и Entity Framework (ORM);
5. пользовательский интерфейс: Windows Forms (WinForms) с элементами управления из стандартной библиотеки .NET;
6. безопасность: хеширование паролей.

На рис. 3 представлена форма авторизации, содержащая поля для ввода логина, пароля.

Рис. 3 – Форма авторизации в подсистеме

После успешной авторизации тренер попадает в главное окно приложения (рис. 4), где может просматривать список клиентов, добавлять новых, отслеживать прогресс каждого клиента, создавать программы тренировок и планы питания.

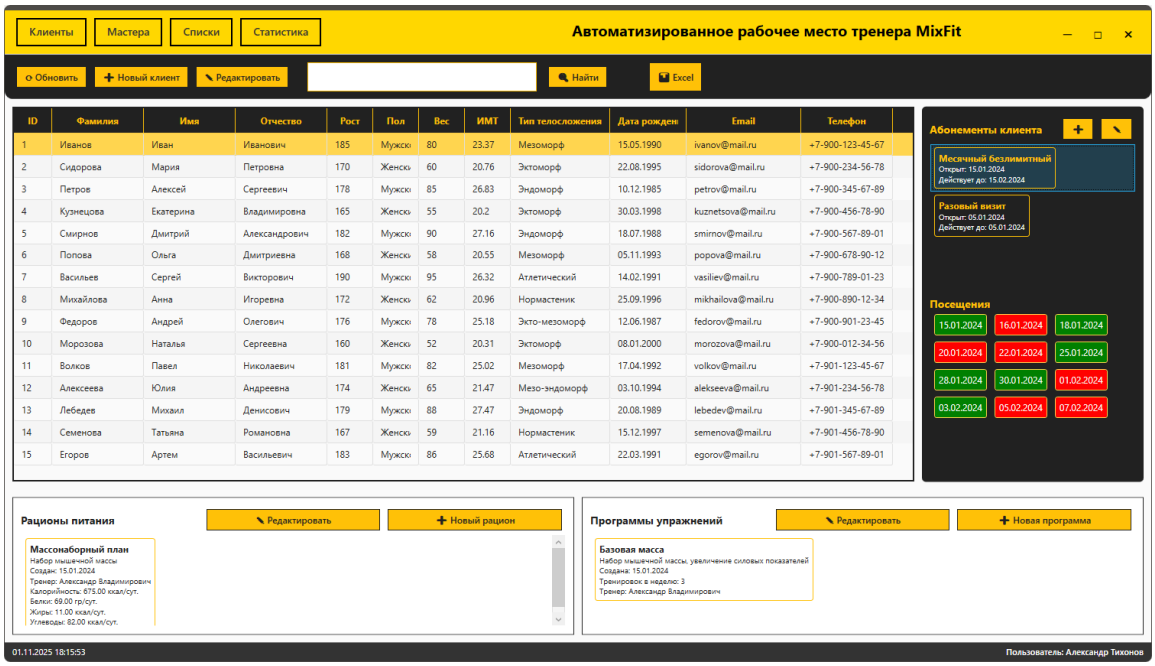


Рис. 4 – Пример главного окна тренера

Главное окно тренера содержит панель управления со статистикой по клиентам (количество активных клиентов, процент выполнения программ, динамика посещаемости), таблицу клиентов с возможностью фильтрации по целям тренировок, а также кнопку быстрого добавления нового клиента. Все данные подгружаются из базы данных SQL Server в реальном времени.

На рис. 5 представлена экранная форма для добавления нового клиента, содержащая поля для ввода ФИО, даты рождения, номера телефона, цели тренировок (похудение, набор массы, поддержание формы) и текущих антропометрических параметров (вес, объёмы).

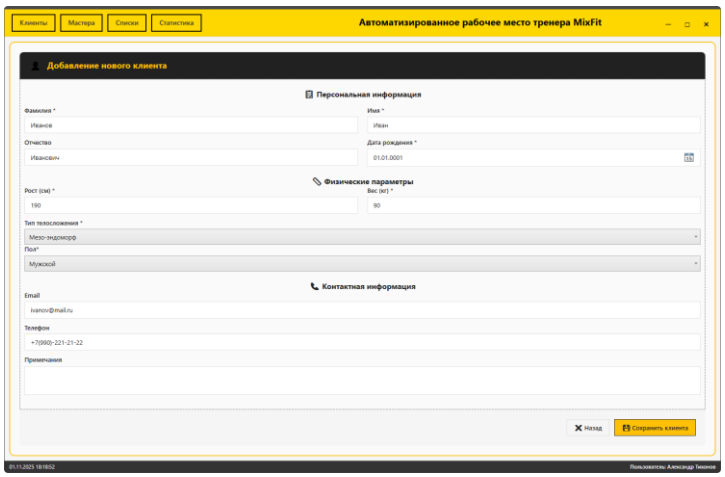


Рис. 5 – Форма добавления нового клиента

При нажатии кнопки «Сохранить» данные проверяются на корректность (валидация) и отправляются в базу данных через Entity Framework. Для клиента реализован интерфейс просмотра своих данных (рис. 6). Система автоматически отображает текущую программу тренировок, план питания на день и график динамики веса и объёмов, построенный с использованием элемента управления Chart из Windows Forms.

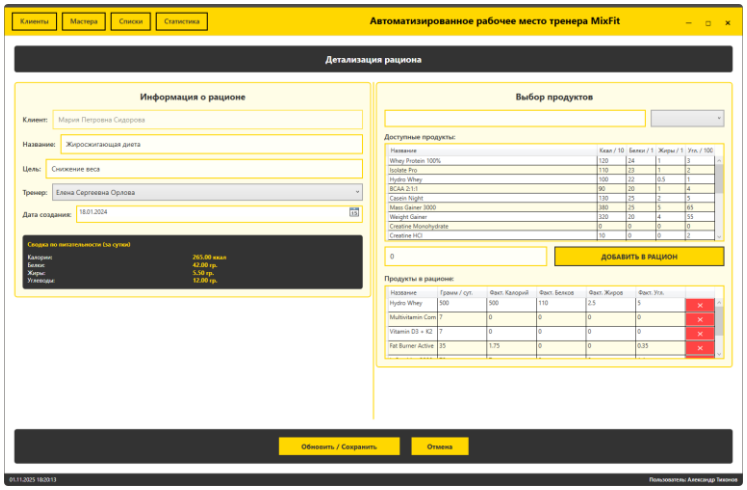


Рис. 6 – Пример окна клиента

На рис. 7 представлена экранная форма для создания или редактирования программы тренировок. Тренер выбирает клиента из выпадающего списка, указывает название программы, затем с помощью DataGridView добавляет упражнения с количеством подходов, повторений и длительностью отдыха. Система автоматически формирует итоговое расписание тренировок на неделю и сохраняет его в базу данных.

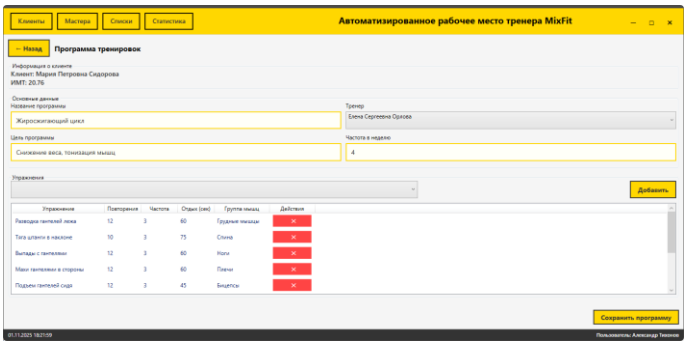


Рис. 7– Форма создания программы тренировок

В результате разработки информационной подсистемы для автоматизации работы фитнес-тренера были обеспечены следующие возможности:

1. автоматизированная регистрация и ведение данных клиентов в локальной базе данных SQL Server;
2. разграничение доступа с помощью ролей «Тренер» и «Клиент»;
3. автоматическое построение графиков динамики антропометрических показателей с использованием встроенных элементов WinForms;
4. конструктор программ тренировок с возможностью добавления, редактирования и удаления упражнений;
5. конструктор планов питания с авторасчётом калорийности и БЖУ;
6. учёт посещаемости и выполнения тренировок через журнал в DataGridView;
7. формирование отчётов о прогрессе клиента за выбранный период с возможностью экспорта в Microsoft Excel;
8. работа приложения без постоянного подключения к интернету (автономный режим с синхронизацией БД).

Разработанная система позволяет сократить временные и трудовые затраты фитнес-тренера, минимизировать риск арифметических ошибок в расчётах, повысить качество и прозрачность предоставляемых услуг, а также создать единую базу данных для последующего анализа эффективности тренировок. Предложенное решение может быть адаптировано для использования в фитнес-клубах, студиях персонального тренинга и спортивных центрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журнал «Фитнес Про» -- официальное издание для фитнес-специалистов. -- URL: http://fitnesspro.ru/ (дата обращения: 10.04.2026).
2. «Университет 20.35» -- платформа о цифровой трансформации образования. -- URL: https://2035.university/ (дата обращения: 11.04.2026).
3. Сайт «Блог фитнес-тренера» -- практический ресурс об ИТ-решениях для фитнес-бизнеса. -- URL: https://trainerblog.ru/ (дата обращения: 11.04.2026).
4. «Базовые знания по IDEF0». Блог Comindware. -- URL: https://www.comindware.ru/blog/азы-моделирования-в-idef0/ (дата обращения: 06.04.2026).
5. Столяров А. «Проектирование диаграмм: руководство для системных аналитиков». -- Хабр. -- URL: https://habr.com/ru/articles/924396/ (дата обращения: 08.04.2026).
6. Сырцев В. «Использование диаграммы вариантов использования UML при проектировании программного обеспечения». -- Хабр. -- URL: https://habr.com/ru/articles/566218/ (дата обращения: 10.04.2026).

КАКИЕ СВОЙСТВА МЕДИ ОБУСЛАВЛИВАЮТ ЕЁ ШИРОКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКЕ? ЧТО ТАКОЕ «ВОДОРОДНАЯ БОЛЕЗНЬ» МЕДИ?

Шишикин И.С., студент 1 курса
Научный руководитель – к.п.н., доцент **Мякотина М.В.**
Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (СТИ НИТУ «МИСИС»)

Медь — один из ключевых материалов в электронной технике, востребованность которого обусловлена комплексом уникальных физических и химических свойств. Разберём подробнее, какие именно характеристики делают медь незаменимой, а также рассмотрим специфическую проблему — «водородную болезнь» меди.

Главное свойство меди, определяющее её применение в электронике, — высокая электропроводность. По этому показателю медь уступает только серебру: удельное электрическое сопротивление при 20° С составляет около 0,017 Ом·мм^2 /м. Благодаря этому металл используют для изготовления проводов и кабелей, создания токопроводящих дорожек на печатных платах, производства обмоток трансформаторов и электродвигателей, изготовления контактов и разъёмов. Не менее важна и высокая теплопроводность меди (≈400 Вт/(м·К)), позволяющая эффективно отводить тепло от нагревающихся компонентов. Это свойство применяют в радиаторах охлаждения процессоров и видеокарт, тепловых трубках и системах теплоотвода мощных электронных компонентов.

Медь также отличается пластичностью и ковкостью: её легко вытягивать в тонкую проволоку (до долей миллиметра), прокатывать в листы и штамповать, что позволяет создавать сложные формы проводников и контактов. В атмосферных условиях медь относительно устойчива к коррозии — на её поверхности образуется тонкая защитная плёнка оксидов и карбонатов (патина), замедляющая дальнейшее разрушение металла. К преимуществам меди относят и хорошую свариваемость с паяемостью: медные детали легко соединять между собой и с другими металлами с помощью пайки и сварки, что критично при монтаже электронных схем.

Прочность и долговечность меди тоже играют важную роль: медные проводники выдерживают многократные изгибы без разрушения, что необходимо для подвижных соединений и кабелей. Кроме того, медь хорошо сочетается с изоляционными материалами (полимерами, керамикой), позволяя создавать надёжные многослойные структуры. Наконец, экономическая целесообразность делает медь оптимальным выбором для массового производства: хотя серебро обладает более высокой электропроводностью, оно значительно дороже.

Благодаря сочетанию этих свойств медь используется практически во всех областях электронной техники. В микроэлектронике применяют тонкие медные плёнки в интегральных схемах и межсоединениях между элементами чипа. В печатных платах медь нужна для формирования токопроводящих дорожек и металлизации отверстий. В силовой электронике её используют в шинах, кабелях и обмотках трансформаторов для передачи и преобразования больших токов. В радиоэлектронике медь идёт на изготовление волноводов, антенн и элементов СВЧ-устройств. В оптоэлектронике она служит теплоотводом для лазерных диодов и светодиодов высокой мощности, а в энергетике применяется в кабелях линий электропередачи и шинах распределительных устройств.

Отдельно стоит рассмотреть явление, известное как «водородная болезнь» (или водородное охрупчивание) меди. Это процесс, при котором медь теряет пластичность и становится хрупкой после отжига в атмосфере водорода или в средах, содержащих водород. Механизм возникновения «водородной болезни» связан с присутствием оксида меди (Cu_2O) в меди технической чистоты: при нагреве в водородной среде водород диффундирует в металл и вступает в реакцию с оксидом меди по формуле $Cu_2O+H_2 \rightarrow 2Cu+H_2O$.

В результате внутри металла образуются пары воды, которые не могут выйти наружу и создают высокое давление в микропорах и на границах зёрен, что приводит к образованию микротрещин, ослабляющих металл.

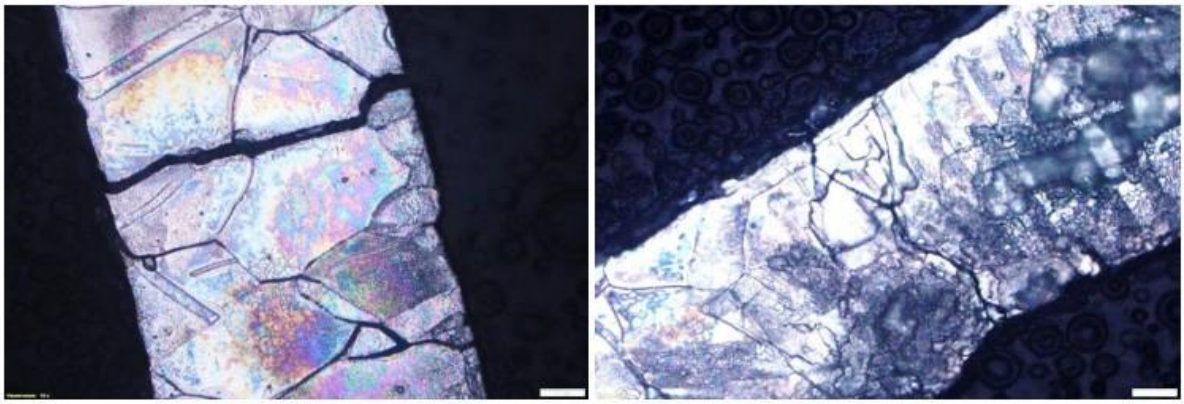


Рис. 1 – Выявленная водородная хрупкость на образцах из бескислородной меди

Выявить «водородную болезнь» можно по ряду признаков и с помощью специальных методов. Визуально на поверхности появляются трещины, вздутия или «дырчатость» — сквозные отверстия в тонких листах, а излом вместо блестящего становится матовым. При механических испытаниях заметно резкое падение пластичности: удлинение при разрыве снижается с 40–50 % до 5–10 %, а образец при испытании на изгиб разрушается после 1–2 перегибов вместо 10+. Металлографический анализ под микроскопом позволяет увидеть трещины по границам зёрен, газовые пузыри и участки растравленной структуры. Кроме того, наблюдается падение электропроводности на 5–15 % из-за нарушения целостности проводящего пути. Стандартный тест для бескислородной меди включает испытание на перегиб: образец толщиной 2 мм и шириной 10 мм должен выдержать более 10 перегибов на 90° без трещин. Если в меди присутствует кислород (около 0,02 % по массе), разрушение происходит уже после первого перегиба.

Последствия «водородной болезни» серьёзны: наблюдается резкое снижение пластичности (медь становится хрупкой), появляются трещины при деформации, ухудшается электропроводность из-за нарушения целостности структуры, возникает риск разрушения деталей в процессе эксплуатации. Особенно опасна «водородная болезнь» в вакуумной и космической технике, где детали проходят высокотемпературную обработку — трещины в медных теплоотводах могут привести к перегреву микросхем. Способствуют развитию этого явления несколько условий: высокая температура (обычно выше 400° С, часто критична температура 850±25° С), наличие водорода в окружающей среде (водородная атмосфера, диссоциированный аммиак и т.д.), присутствие оксидов меди в структуре металла, а также длительная выдержка при высоких температурах.

Для предотвращения «водородной болезни» применяют ряд методов. Во-первых, используют бескислородную медь (например, марки М00б с содержанием кислорода менее 0,001 %) с минимальным содержанием кислорода — такие сплавы практически не подвержены этому явлению. Во-вторых, контролируют атмосферу при термообработке, заменяя водород инертными газами (аргоном, азотом) или вакуумом. В-третьих, проводят предварительную дегазацию — нагрев в вакууме для удаления растворённых газов перед обработкой в водороде. Также оптимизируют режимы термообработки, снижая температуру и время выдержки в водороде. Дополнительно может применяться легирование — добавление небольших количеств других элементов (фосфора, серебра), улучшающих стойкость к водородному охрупчиванию. Наконец, важен контроль качества сырья: использование меди высокой чистоты с минимальным содержанием оксидных включений снижает риск возникновения проблемы.

При работе с медью в электронной технике рекомендуется придерживаться нескольких практических правил. Следует выбирать марки меди с низким содержанием кислорода для ответственных деталей, по возможности избегать отжига в водороде, проводить контроль пластичности после термообработки и использовать защитные атмосферы при высокотемпературных операциях.

Хотя медь остаётся стандартом в электронике, иногда используют и другие проводниковые материалы — выбор зависит от компромисса между свойствами и стоимостью. Алюминий дешевле и легче меди (плотность 2700 кг/м^3 против 8930 кг/м^3), но имеет более высокое сопротивление (0,028 Ом·мм^2/м — в 1,58 раза хуже меди). Его применяют в линиях электропередачи из-за низкой стоимости и малого веса, но в точной электронике используют редко из-за сложности пайки и сварки, склонности к «ползучести» под нагрузкой (ослабление винтовых соединений) и электрохимической коррозии в паре с медью, что требует использования переходников. Серебро обладает лучшей проводимостью (0,016 Ом·мм^2/м, на 6 % лучше меди), но высокая стоимость ограничивает его применение — его используют для покрытий контактов, чтобы повысить коррозионную стойкость, в СВЧ-компонентах для снижения потерь на скин-эффекте и в высоконадёжных разъёмах. Золото практически не окисляется и обеспечивает стабильное контактное сопротивление, однако крайне дорого, поэтому его применяют точечно: в разъёмах военной и космической техники, для покрытия выводов микросхем и в высокочастотных разъёмах с целью минимизации потерь. Сплавы меди, такие как бериллиевая бронза или фосфорная бронза, представляют собой компромисс между проводимостью и прочностью и используются там, где нужна упругость (например, в пружинных контактах) или износостойкость (в скользящих контактах).

Таким образом, медь остаётся незаменимым материалом в электронной технике благодаря уникальному сочетанию высокой электропроводности, теплопроводности, пластичности и коррозионной стойкости. При этом понимание риска «водородной болезни» и способов его минимизации — важный аспект производства: современные технологии позволяют снизить вероятность этого явления за счёт использования бескислородной меди и строгого контроля условий термообработки. Знание свойств меди и особенностей её поведения при различных воздействиях — основа создания надёжной и долговечной электронной аппаратуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агапчева М.В., Солодимова Г.А. Исследование водородной хрупкости бескислородной меди для изделий электронной техники // Материалы XVII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: https://scienceforum.ru/2025/article/2018038361

2. Ю.Н.Логинов «МЕДЬ И ДЕФОРМИРУЕМЫЕ МЕДНЫЕ СПЛАВЫ» URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/36463/1/5-321-00444-7_2004.pdf

3. Что такое электротехническая медь
URL: https://en-res.ru/stati/elektrotexnicheskaya-med.html

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1 «МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ, РЕСУРСО– И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ» **3**

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗАГРУЗКИ И РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ БРИКЕТОВ ПО ШИРИНЕ КОНВЕЙЕРА ОХЛАЖДЕНИЯ **3**
Арутюнян А.Д., Арутюнян А.Б., Щуров А.В., Шестаков М.А., Малахова О.И.,
.

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОПЛАВКИ В ГИБКИХ МОДУЛЬНЫХ ПЕЧАХ **7**
Бакланов С.Н., Кочергин Н.В., Кожухов А.А.

РЕШЕНИЕ ВОПРОСА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ШЛАКООБРАЗОВАНИЯ В КОНВЕРТЕРЕ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ФГМБ (ФЕРРИТНО-ГЛИНОЗЕМИСТЫЙ МАТЕРИАЛ БРИКЕТИРОВАННЫЙ). ЧАСТЬ 1. **10**
Бугаков М.Н., Роготовский А.Н., Плешивцев К.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕГО БРИКЕТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ В ВАЛКОВОМ ПРЕССЕ **16**
Гиряинова А.В., Рябов Л.А., Скляр В.А.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА В ТРУБЧАТОМ РЕКУПЕРАТОРЕ УСТАНОВКИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ MIDREX **21**
Голобурдин А.И., Никитченко Т.В.

ВЫБОР СУШИЛЬНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ СУШКИ МЕТАЛЛИЗОВАННОЙ МЕЛОЧИ **25**
Горбань А.А., Никитченко Т.В.

ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ РОССИИ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА **28**
Гуркин В.В., Малахова О.И.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ РЕФОРМЕРА MIDREX ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА РЕАКЦИОННЫХ ТРУБ **31**
Ермоленко К.А., Тимофеева А.С.,

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ **37**
Калинин Е.В., Черменев Е.А.

ВЫПЛАВКА СТАЛИ В ДСП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ ОКАТЫШЕЙ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ SIO2 **42**
Карамин А.В., Бондарчук А.А., Губеев Я.А.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БРИКЕТОВ ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА **44**
Карамин А.В., Скляр В.А.

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПРОСТЫХ ФОРМ **47**
Ким В.В., Ивановская О.В.

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА ЗА СЧЁТ СНИЖЕНИЯ ПРОСТОЕВ **50**
Клейменов А.А., Малахова О.И.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ МЕЖПЛАВОЧНЫХ ПРОСТОЕВ В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ЦЕХАХ **53**
Клейменов А.А., Малахова О.И..

ВОДОРОД В МЕТАЛЛУРГИИ: ПРОБЛЕМА КАЧЕСТВА СТАЛИ И РЕСУРС НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ **56**
Кочергина И.Н., Кожухов А.А.

КОРРЕЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБКАТЫВАНИЯ И МИКРОГЕОМЕТРИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ **60**
Кудинов Е.А., Майкова К.Ф., Скляр В.А.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОКСИДА НАТРИЯ НА ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ БЕНТОНИТА **67**
Лихтина Е.Ю., Шевцова Л.А., Тимофеева А.С.

ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ВБЛИЗИ КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИБОРА EMF – TESTER ELECTROMAGNETIC FIELD **70**
Помельников А.А., Новиков А.А., Горголюк Д.Д., Сазонов А.В., Лукьянов И.Е., Сурков В.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОДАЧИ ПРИ КОВКЕ НА ФОРМИРУЕМУЮ ГЕОМЕТРИЮ ПОКОВКИ **74**
Наврузбоев Х.Г., Скляр В.А.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ТЕПЛООБМЕННЫМ ПРОЦЕССАМ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ **78**
Парталюк С. В., Тимофеева А. С.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ РАСХОДОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДАХ **82**
Подусовская М.О., Попов А.М., Гавриш П.В.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ КОЛОСНИКОВ ОБЖИГОВЫХ МАШИН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОКИСЛЕННЫХ ОКАТЫШЕЙ **84**
Рябов Л.А., Купцова Д.А., Часовских Д.В., Гиряинова А.В., Елисеева Е.Ю., Скляр В.А.

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ЭНЕРГООБЪЕКТОВ: АРХИТЕКТУРА И ПРАКТИЧЕСКИЕ ВЫГОДЫ **87**
Татров Б.М., Плиева М.Т.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УШИРЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ РОМБИЧЕСКОЙ ПОЛОСЫ В КВАДРАТНОМ КАЛИБРЕ **91**
Чабан М.Р., Скляр В.А.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОСТЫХ РАБОТ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ **94**
Шелудков К.А., Шелудкова О.С.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОГНЕУПОРОВ И ИХ ВТОРИЧНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПОСЛЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ **97**
Шестаков М.А.,, Ряполова М.С.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМОГО ВЛАГОПОГЛОЩЕНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НАЧАЛА САМОРАЗОГРЕВА МЕТАЛЛИЗОВАННОЙ ПРОДУКЦИ **100**
Шевцова Л.А., Лихтина Е.Ю., Гладкая Е.А., Тимофеева А.С

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЫЛИ **103**
Ряполова Яновский А.И., Гладкова В.Е., Малахова О.И.

СЕКЦИЯ 2 «МАШИНОСТРОЕНИЕ И ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА»

106

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЖИДКОСТНО-АБРАЗИВНОЙ ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ОБРАБОТКИ НЕЗАКРЕПЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ И ПРОЦЕССОВ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ДЕТАЛИ ХИМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ ПУТЕМ ПРОВЕДЕНИЯ НАТУРАЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА 106
Жихарев В.П., Еременко А.Ю.

ФИНИШНАЯ РОТОРНАЯ БЕСЦЕНТРОВАЯ ЖИДКОСТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА КРУГЛОГО ПРОКАТА 110
Жихарев В.П., Еременко А.Ю.

ПЕРИОД СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ВИБРОРЕЗАНИЕМ ДЕТАЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН 113
Качановский А.Р., Яблоков Д.А., Майкова К.Ф., Титова А.П.

ВЛИЯНИЕ ВИБРОРЕЗАНИЯ НА ПРОЦЕСС ДРОБЛЕНИЯ СТРУЖКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И РЕМОНТЕ ДЕТАЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН 115
Качановский А.Р., Яблоков Д.А., Майкова К.Ф., Титова А.П.

ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ОТ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН 119
Качановский А.Р., Яблоков Д.А., Майкова К.Ф., Титова А.П.

ЗАВИСИМОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕМЕНТИРОВАННЫХ СЛОЕВ ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИИ В АРГОНОВОЙ МЕЖЭЛЕКТРОДНОЙ СРЕДЕ 123
Скрипцов Д.Р., Леонов С.Д., Кудинов Е.А.

РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ ДЕТАЛЕЙ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ДЛЯ НУЖД ПРОИЗВОДСТВА: КЕЙС УЛИТЫ НАСОСА WARMAN SP250TV 127
Майкова К.Ф., Кудинов Е.А.

МЕТОД ЭЛЕКТРОТЕНЗОМЕТРИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕТАЛЯХ МАШИН 131
Майкова К.Ф., Кудинов Е.А.

ПРОБЛЕМЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В САПР ПРОГРАММАХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ДЕТАЛИ ВПУСКНОГО КЛАПАНА ГИДРОСИСТЕМЫ 137
Майкова К.Ф., Кудинов Е.А.

СТАНДАРТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ И ВЫНОСЛИВОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ 141
Майкова К.Ф., Кудинов Е.А.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТЕНЗОМЕТРИИ 145
Майкова К.Ф., Кудинов Е.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГЕТЕРОГЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ 149
Майкова К.Ф., Ларин А.И.

ВЛИЯНИЕ АКТИВНОЙ МЕЖЭЛЕКТРОДНОЙ СРЕДЫ НА ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ 152
Скрипцов Д.Р., Леонов С.Д., Кудинов Е.А.

ВЛИЯНИЕ МЕЖЭЛЕКТРОДНОЙ СРЕДЫ В ВИДЕ ПОТОКА ВОЗДУХА НА ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ СТАЛИ 155
Скрипцов Д.Р., Леонов С.Д., Кудинов Е.А.

ПРЕИМУЩЕСТВО ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ХОДОВОГО КОЛЕСАКРАН-БАЛКИ, ИЗГОТОВЛННННОГО ИЗ РАЗЛИЧНОГО М АТЕРИАЛА **159**
Яблоков Д.А., Ларин А.И.

СЕКЦИЯ 3 «АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО–ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНФОРМАТИКА» **163**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ САЙТА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЦЕН НА НЕДВИЖИМОСТЬ: ИНФОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ **163**
Абдуллаев А.Г., Глущенко А.И.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ВРЕДОНОСНОГО ПО **168**
Абрамова Ж.С.,Ващекина Н.В.

МОДЕРНИЗАЦИЯ УЗЛА СГУЩЕНИЯ ХВОСТОВОЙ ПУЛЬПЫ **173**
Агарков Н.А., Анпилов А.О.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С УЧЕТОМ РАБОТЫ ЗАСЛОНОК ВЫГРУЗКИ МЕТАЛЛА **176**
Алейник О.С., Фомин А.В.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМ-ФИЛЬТРОМ **179**
Архипов Д.А., Анпилов А.О.

ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАСОСОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ **181**
Ахмедов А.А., Гамбург К.С.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОЦИАЛЬНО-ВОСПИТАТЕЛЬНОГО ОТДЕЛА В ОРГАНИЗАЦИЯХ СПО НА ОСНОВЕ ДАТАЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ **184**
Богданова Ю.С., Ковтун Н.И.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОДГОТОВКИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ГАЗА ЦГБЖ-1 АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК» **188**
Бублиёв Н.Д., Анпилов А.О.

РАЗРАБОТКА АИС УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДОМ НА ПРЕДПРИЯТИИ ЗАО «ПКФ «НК»». МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДОМ **190**
Бувайлик И.Н., Козырь О.Ф.

О МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА ЗАХВАТА ДЕТАЛЕЙ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ **194**
Булгаков К.А., Полещенко Д.А..

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ ПОСЛЕ НАГРЕВА В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ **197**
Васильев Р.А., Жуков П.И.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ АВТОМАСТЕРСКОЙ **203**
Вербицкий Д.А., Ковтун Н.И.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ С УЧЕТОМ УПРУГИХ СВЯЗЕЙ **206**
Волков М. В., Молодых А. В.

МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АЭП ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ **211**
Волобуев Д.С., Гамбург К.С.

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИС УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВАМИ «УМНОГО ДОМА» **217**
Газдовская В.Е., Ковтун Н.И.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУТП ПРОИЗВОДСТВА ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ГАЗА ЦЕХА МЕТАЛЛИЗАЦИИ «АО ОЭМК ИМ.А.А.УГАРОВА» **220**
Гончаров М.В., Кривоносов В.А.

МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ РАБОТЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РОБОТОВ **224**
Давыдов Д.А., Анпилов А.О.

О ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ РОБОТАМИ **227**
Давыдов Д.А., Анпилов А.О.

РАЗРАБОТКА ДАТАЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ СПОРТИВНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ **229**
Данилов В. С., Лазарева Т. И.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЗУМПФА ДЛЯ ГИДРОЦИКЛОННОЙ УСТАНОВКИ ГЦ-500 **233**
Деминова А.С., Кривоносов В.А.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА КВ-ГМ-100 КЖМ ОАО «ТЕПЛОЭНЕРГО» **238**
Дмитриев Е.А., Кривоносов В.А.

ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АЭП НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ «МЫТНЫЙ ДВОР» В Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ **243**
Долгих Г.Н., Молодых А.В.

«ПРИЗРАКИ В МАШИНЕ»: ЭТНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО АНИМИЗМА И АГЕНТНОСТИ НЕЧЕЛОВЕЧЕСКИХ СУЩНОСТЕЙ В УМНОМ ДОМЕ **247**
Должикова Д.Е., Канныкин С.В..

ВОСПРОИЗВОДИМЫЙ ПРОТОКОЛ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ: КОНВЕЙЕР ОЦЕНКИ, QUALITY GATES И БАЗОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НА MMLU-STEM **252**
Дрыга Д.В., Соловьев А.Ю.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА АРХИТЕКТУРЫ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ RESNET-18 ДЛЯ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДЕФЕКТОВ **256**
Дубков К.А., Полещенко Д.А.

ПОЛИМЕРЫ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КАЧЕСТВЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ **261**
Евдокимов К.А., Мякотина М.В.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП ПЕЧИ НАГРЕВА СПЦ-2 АО «ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА» **265**
Жилмостных В.В., Кривоносов В.А.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП УЧАСТКА ПОДГОТОВКИ ВОЗДУХА КРИОГЕННОЙ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ КИСЛОРОДНОЙ СТАНЦИИ АО «ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА» **269**
Жуков М.Р., Козырь О.Ф.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП ОБЖИГОВОЙ МАШИНЫ АО «ТХМ-ПРОМПЕЧЬ» **274**
Зимина Д.А., Кривоносов В.А.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП ВОЗДУХА ГОРЕНИЯ ПЕЧИ НАГРЕВА СПЦ-1 АО «ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА» **278**
Зинченко В.А., Гамбург К.С.

МОДЕРНИЗАЦИИ АСУ ТП НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЦЕХА ХВОСТОВОГО ХОЗЯЙСТВА АО «СТОЙЛЕНСКИЙ ГОК» **281**
Иванова Д.С, Козырь О.Ф.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА КЛИЕНТОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ ЦЕНТРА «РАЗВИТИЕ+» **285**
Калисецкий М. А., Лазарева Т.И

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА EXELNS ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ АО «СТОЙЛЕНСКИЙ ГОК» **290**
Калистратова А.Г., Моторина Н.П.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ И ИНФОРМЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ СТИ НИТУ «МИСИС» **295**
Камел Ф. М.., Жуков П.И.

РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ **300**
Кижаев Я.Р., Мякотина М.В.

В ЧЁМ СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЕ МЕЖДУ СИТАЛЛОМ И СТЕКЛОМ. КАКОВА ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СИТАЛЛОВ И ДЛЯ КАКИХ ЦЕЛЕЙ ОНИ ПРИМЕНЯЮТСЯ **304**
Коптев Н.А., Мякотина М. В.

ФОРМИРОВАНИЕ АНОМАЛИЙ В ИСКУССТВЕННЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ РАННЕГО РАСПОЗНАВАНИЯ ШЛАКА ПРИ РАЗЛИВКЕ СТАЛИ **308**
Коренев А.В., Полещенко Д.А.

РАЗРАБОТКА ЯДРА ИГРОВЫХ МЕХАНИК КОМПЬЮТЕРНОЙ ИГРЫ В СРЕДЕ UNITY: АРХИТЕКТУРНЫЙ И ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ АСПЕКТЫ **311**
Криволапов П.А., Жуков П.И.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗОГРЕВА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОВШЕЙ **315**
Кучерявый А.С., Кривоносов В.А..

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РУЧНОГО ПОИСКА И ИИ-АССИСТЕНТОВ ПРИ СБОРЕ И ВЕРИФИКАЦИИ ГОДОВОЙ ОТЧЕТНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КОМПАНИЙ **320**
Майкова К.Ф., Богатов Е.М.

РАЗРАБОТКА АСУ ТП СУШИЛЬНОГО БАРАБАНА ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНОЙ ФАБРИКИ АО “МИХАЙЛОВСКИЙ ГОК ИМ. А.В. ВАРИЧЕВА” **324**
Макаров Л.А., Кривоносов В.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОТЧЕТНОСТИ КЛАССНЫХ РУКОВОДИТЕЛЕЙ (NEXUS) **328**
Маклецов Н.С.,Неликаева Н.С..

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РЕКУРРЕНТНОГО ОПЕРАТОРА АППРОКСИМАЦИИ ЗАВИСИМОСТЕЙ В СВЯЗАННЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ЧЕРНО-БЕЛОГО ГРАФА **333**
Малышенко М.Р., Жуков П.И.

ПРАКТИКО ОРИЕНТИРОВАННЫЕ СТАНДАРТЫ ОБУЧЕНИЯ В СПО: АДАПТАЦИЯ К ЦИФРОВОЙ РЕАЛЬНОСТИ И ЗАПРОСАМ РЫНКА ТРУДА **339**
Медведева О.Е.., Лазькова Г.М.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ИНФОРМАТИКЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА **342**
Медведева О.Е., Лазькова Г.М.

ПРАКТИКО ОРИЕНТИРОВАННЫЕ СТАНДАРТЫ ОБУЧЕНИЯ В СПО: АДАПТАЦИЯ К ЦИФРОВОЙ РЕАЛЬНОСТИ И ЗАПРОСАМ РЫНКА ТРУДА **345**
Медведева О.Е., Лазькова Г.М.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГРУППЫ РОЛЬГАНГОВ УЧАСТКА 1-ОЙ ЛИНИИ ПИЛ ГОРЯЧЕЙ РЕЗКИ СПЦ-1 АО «ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА» **348**
Медведев В.С., Петров В.А.

РАЗРАБОТКА ПЕРСОНАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ОТРАБОТКИ НАВЫКОВ В ВИДЕ ЧАТ-БОТА **351**
Михальков А.Ю., Жуков П.И.

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ **357**
Миронец А.Д., Основина О.Н.

ПОЧЕМУ УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОВ РАСТЁТ С ПОВЫШЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ? **360**
Морозов М.Р., Мякотина М.В.

РАЗРАБОТКА РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЁТА ПОСЕЩАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ **363**
Мохамед М. Ф., Козырь О.Ф.

РАЗРАБОТКА ВЕБ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОДБОРА МЕЖДУНАРОДНЫХ СТИПЕНДИАЛЬНЫХ ПРОГРАММ **369**
Мохамед А. И., Ковтун Н.И.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП ПЕЧЕЙ ОТЖИГА СПЦ-2 АО «ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА» **373**
Муравьев В.К., Гамбург К.С.

РАЗРАБОТКА РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА АВТОЗАПЧАСТЕЙ **377**
Нежмелдин В.Р., Симонова А.Г.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СУШКОЙ ШЛАКА АО «ЦЕМРОС» **382**
Немцев Н.П., Полещенко Д.А.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА БАШЕННОГО КРАНА КБ 308А ЦМК ООО «РУДСТРОЙ» **387**
Николаев М.А., Петров В.А.

ОТ КАКИХ ФАКТОРОВ ЗАВИСЯТ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ? В ЧЕМ ПРЕИМУЩЕСТВА ПЬЕЗОКЕРАМИКИ ПЕРЕД МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКАМИ? **390**
Никулина Д.А., Мякотина М.В.

СОЗДАНИЕ ИНТЕРАКТИВНОГО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ПЛАТФОРМЕННОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ **393**
Новиков Д.Э., Основина О.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИМ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В МНОГОУРОВНЕВОМ ИНВЕРТОРЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТЫ ИМ. ГУБКИНА АО «КОМБИНАТ КМАРУДА» **398**
Овчаров К.А., Молодых А.В.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП ДРОБИЛКИ МЕЛКОГО ДРОБЛЕНИЯ КМД 3000Т АО «СГОК» **403**
Орлов М.А., Полещенко Д.А.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АЭП СТАНЦИИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ МНОГОЭТАЖНОГО ДОМА Г. ВОРОНЕЖ **408**
Орчиков А.Р., Моторина Н.П.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП СИСТЕМЫ ГАЗООЧИСТКИ СУШИЛЬНОГО БАРАБАНА ДСФ АО «МГОК» **413**
Панкратов Н.А., Полещенко Д.А.

РАЗРАБОТКА НАРРАТИВНОГО ДИЗАЙНА КОМПЬЮТЕРНОЙ ИГРЫ НА ПЛАТФОРМЕ UNITY: МЕТОДЫ, МОДЕЛИ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ **416**
Поляк Д.И., Жуков П.И.

ИЗМЕНЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В КРЕМНИИ И ГЕРМАНИИ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛЕГИРУЮЩИХ ПРИМЕСЕЙ **420**
Полякова А.И.,Мякотина М.В.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАМОТОЧНОЙ МАШИНЫ СПЦ-2 АО "ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА" **423**
Попов Д.А., Молодых А.В..

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУТП ПРЕССОВ ВУЛКАНИЗАЦИИ ЦЕХА ВУЛКАНИЗАЦИИ АО «СТОЙЛЕНСКИЙ ГОК» **428**
Прасолов Н.Р., Полещенко Д.А.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ КОМПРЕССОРА ИНЕРТНОГО ГАЗА УСТАНОВКИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ФАБРИКИ ОКОМКОВАНИЯ И МЕТАЛЛИЗАЦИИ ОЭМК **431**
Пьяных А.С., Полещенко Д.А.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОЖАРНОЙ СТАНЦИИ **434**
Расстрыгин И.В., Моторина Н.П.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА СПОРТИВНЫХ НОРМАТИВОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ **438**
Ребенок Л.А., Симонова А. Г.

РАЗРАБОТКА ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДБОРА ФЛОРИСТИЧЕСКОЙ КОМПОЗИЦИИ **442**
Ребенок Л.А., Рогозина П. А., Основина О. Н.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП ПЕЧИ НАГРЕВА СПЦ-2 АО «ОЭМК ИМ. А.А. УГАРОВА» **447**
Резников Д.В., Полещенко Д.А.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИЁМНОЙ КАМПАНИИ ДЕТСКОЙ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ШКОЛЫ **452**
Рогозина П. А., Симонова А.Г.

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К РАЗРАБОТКЕ ИС ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕТА СТУДЕНЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ **458**
Розенко Е.М., Ковтун Н.И.

РАЗРАБОТКА АСУ-ТП БАКА УЗЛА ПОКРЫТИЯ АНО-7 ЦЕХА ДИНАМНОЙ СТАЛИ ПАО «НЛМК» **462**
Ковтун Н.И..

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ МЕТОДОМ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ **465**
Рудаков В.А., Михайлов И.С.

АЛГОРИТМЫ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IOT И ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ **467**
Рудаков В.А., Михайлов И.С.

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ **470**
Рудаков В.А., Михайлов И.С.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП КВГМ-4 АО «ЛИМКОРМ ПЕТФУД» **472**
Рыбалко Д.О., Уварова Л.В.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПАССАЖИРСКОГО ЛИФТА **477**
Ряполов К.И., Моторина Н.П.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ООО «АЛЬЯНС» **482**
Савинов А.К., Моторина Н.П.

СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ БЛЮМОВ В УСЛОВИЯХ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ **487**
Савостин М.В., Полещенко Д.А.

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ НЕЧЕТКОГО КОМПЕНСАТОРА МЕЖЗОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ДЛЯ МНОГОЗОННОЙ ПЕЧИ НАГРЕВА МЕТАЛЛА **489**
Савостин Н.В., Фомин А.В.,

РАЗРАБОТКА ИНФОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОДУЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПРОХОЖДЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ПРОЦЕДУР В КОНФИГУРАЦИИ 1С_УПРАВЛЕНИЕ ХОЛДИНГОМ **495**
Савченко С.В., Уварова Л.В.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУТП ПЕЧИ ОТЖИГА МЕТАЛЛА №2 СПЦ-1 АО «ОЭМК ИМ А.А. УГАРОВА» **500**
Самойлов С.И., Фомин А.В.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОГО НАВИГАТОРА «ВМЕСТЕ С МИСИС» НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ **505**
Свириденко Т.С., Ковтун Н.И.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ДЕСКРИПТОРОВ ПОЗ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ УГРОЗ В СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ **509**
Сиваш Г.М., Шевцов А.С., Ковтун М.В.,

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АДМИНИСТРАТОРА ДЛЯ ШКОЛЫ ТАНЦЕВ «ПАРИ» **515**
Сидорова Д.В., Симонова А. Г.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦАУ-1 КСМД АО «МИХАЙЛОВСКИЙ ГОК ИМ. А.В. ВАРИЧЕВА» **519**
Сидоров И.О., Моторина Н.П.

МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФЕРРИТОВ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЕТЛЁЙ ГИСТЕРЕЗИСА. МАРКИ И ПАРАМЕТРЫ ФЕРРИТОВ С ППГ **524**
Смирнов А.В.,Мякотина М.В.

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ДИАГРАММ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИГНАЛА ВИБРОУСКОРЕНИЯ БАРАБАНА ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ **529**
Соколов Д.И., Полещенко Д.А.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП БАРАБАННОЙ ПЕЧИ УЧАСТКА СУШКИ МЕЛА АО «РУСЛАЙМ» **532**
Сорокин Н.О., Халапян С.Ю..

ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ АЭП ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА **535**
Старикова Л.В., Гамбург К.С.

ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ, ПОЛЯРНЫЕ И НЕПОЛЯРНЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА И ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ **538**
Сурков П.Р., Мякотина М.В.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ТП ДЕШЛАМАТОРА 9-ОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК» **542**
Сычева К.С., Халапян С.Ю.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ И ИНСАЙДЕРСКИХ УГРОЗ В БАЗАХ ДАННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ **546**
Таратынов М.А., Симонова А.Г

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ УСТАНОВКОЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ IT-ОБОРУДОВАНИЯ **550**
Ткаченко А. В., Халапян С.Ю.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ЛИНИЕЙ ПРОИЗВОДСТВА РАЗЪЕМОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СБОРКИ **552**
Ткаченко С.В., Халапян С.Ю.

СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЕ МЕЖДУ СИТАЛЛОМ И СТЕКЛОМ. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СИТАЛЛОВ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ **555**
Труфанов А.А., Мякотина М.В.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУТП ПЕЧИ НАГРЕВА МЕТАЛЛА №3 СПЦ-1 АО «ОЭМК» ИМ. А.А. УГАРОВА **559**
Уханова М.А., Фомин А.В.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РЕАЛИЗАЦИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 15.02.19 СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО **563**
Фатьянова О.И.

В ЧЕМ РАЗЛИЧИЕ МЕЖДУ ИОННОЙ И ИОННО-РЕЛАКСАЦИОННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ? ЧТО ХАРАКТЕРИЗУЕТ ВРЕМЯ РЕЛАКСАЦИИ И ОТ КАКИХ ФАКТОРОВ ОНО ЗАВИСИТ? **565**
Филипенко С.В., Мякотина М.В..

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНО – РАСТОЧНОГО СТАНКА 2Б660 **569**
Фомина К.В., Петров В.А.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУТП НАСОСНОЙ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ №2 ЦЕХА ХВОСТОВОГО ХОЗЯЙСТВА АО «СГОК» **573**
Хорхордин А.С., Фомин А.В.

РАЗРАБОТКА ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ: АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ **578**
Хуссейн М. К., Симонова А.Г.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУ ВОДОГРЕЙНЫМ КОТЛОМ ASA-1200 ООО «МАКАРОННАЯ ФАБРИКА **581**
Цапков А.И., Халапян С.Ю.

ПОЛИМЕРЫ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КАЧЕСТВЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ **584**
Часовских П.С., Мякотина М.В.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КУПЛИ-ПРОДАЖИ РЕКЛАМЫ В TELEGRAM НА ОСНОВЕ MINI APP **588**
Швидун Д.А., Лазарева Т.И.

ПРЕПОДАВАНИЕ ИНФОРМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ В РАМКАХ ФЕДЕРАЛЬНОГО ПРОЕКТА «ПРОФЕССИОНАЛИТЕТ»: ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ **593**
Шелудкова О.С.,

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ ФИТНЕС-ТРЕНЕРА **595**
Шиманский З.Д., Соловьев А.Ю.

КАКИЕ СВОЙСТВА МЕДИ ОБУСЛАВЛИВАЮТ ЕЁ ШИРОКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКЕ? ЧТО ТАКОЕ «ВОДОРОДНАЯ БОЛЕЗНЬ» МЕДИ? **600**
Шишикин И.С., Мякотина М.В.