

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева
Российское химическое общество им. Д.И. Менделеева
Тульское отделение Российского химического общества им. Д.И. Менделеева
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)
ТООО «Научно-технический центр»
ООО «ТУЛЬСКИЙ ДНТ»

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

XXXVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Сборник докладов

Тула
Издательство ТулГУ
2026

УДК 001.895:6(062)
ББК 65.011я431
П76

Рецензенты:

С.Н. Вольхин, д-р пед. наук, профессор,
ректор, АНО ДПО «Академия профессионального развития»;

Е.М. Рылеева, канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры охраны труда и окружающей среды,
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

П76 Приоритетные направления развития науки и технологий :
XXXVIII Международная научно-практическая конференция : сб.
докладов / под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2026.
– 219 с.

ISBN 978-5-7679-5916-7

Рассмотрены теоретические и прикладные вопросы развития инновационной деятельности, науки и технологий. Изложены аспекты современных энергосберегающих и ресурсосберегающих производственных технологий, рационального природопользования и экологии. Анализируются проблемы разработки информационных и образовательных технологий для решения научных и прикладных задач.

Материал предназначен для научных сотрудников, инженерно-технических работников, студентов и аспирантов, занимающихся широким кругом современных проблем развития науки и технологий.

Редакционная коллегия:

В.П. Мешалкин, академик РАН; *В.М. Панарин*, проф., д-р техн. наук;
А.А. Маслова, доц., д-р техн. наук; *Л.Э. Шейнкман*, проф., д-р техн. наук;
А.Е. Коряков, доц., канд. техн. наук

УДК 001.895:6(062)
ББК 65.011я431

ISBN 978-5-7679-5916-7

© Авторы докладов, 2026
© Издательство ТулГУ, 2026

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ ДЕМОНТАЖА ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ НАБЕРЕЖНОЙ Г. ХАБАРОВСКА

Н.В. Нещирова
Тихоокеанский государственный университет,
г. Хабаровск

Аннотация. Выполнена количественная оценка образования отходов при реконструкции набережной г. Хабаровска, суммарный объём которых составил 36 372,27 т, преимущественно лома железобетона. Проведён сравнительный анализ двух вариантов обращения с отходами: переработки в г. Комсомольске-на-Амуре (430 км) и захоронения на региональном полигоне ТКО. Затраты на переработку (177,4 млн руб.) в 3,5 раза превышают затраты на захоронение (50,97 млн руб.). Показана необходимость развития локальной инфраструктуры переработки и экономических механизмов, стимулирующих утилизацию крупнотоннажных строительных отходов.

Ключевые слова: реконструкция набережной, отходы строительства и сноса, лом железобетона, эколого-экономическая оценка, обращение с отходами, Хабаровский край.

Введение

Современные тенденции градостроительного развития крупных городов неразрывно связаны с реконструкцией объектов прибрежной инфраструктуры, которые формируют не только архитектурный облик, но и определяют рекреационный потенциал территорий. Город Хабаровск, расположенный на правом берегу р. Амур, в последние годы активно реализует проекты по обновлению набережных, что обусловлено как задачами повышения комфорта городской среды, так и необходимостью приведения гидротехнических сооружений в соответствие с современными требованиями безопасности и долговечности.

При этом реконструкция набережных, в особенности предполагающая полную замену существующих конструкций, сопровождается образованием значительных объёмов отходов строительства и сноса. Наибольшую долю в структуре таких отходов традиционно занимает лом железобетона, образующийся при демонтаже фундаментов, подпорных стен, плит покрытия и других массивных элементов старой набережной. В отличие от нового строительства, где воздействие на окружающую среду распределено во времени, период проведения демонтажных работ характеризуется концентрированным образованием крупнотоннажных материалоёмких отходов, требующих оперативного и экологически безопасного решения.

Вопрос обращения с отходами демонтажа приобретает особую остроту в условиях удалённости объектов от специализированной инфраструктуры переработки. Для Хабаровского края характерна высокая степень территориальной дифференциации мощностей по утилизации отходов

строительства. Ближайшее предприятие, осуществляющее промышленную переработку лома железобетона с получением вторичного щебня, расположено в г. Комсомольске-на-Амуре, расстояние до которого от Хабаровска составляет около 360 км по автомобильной дороге. Организация транспортировки крупнотоннажных отходов на столь значительное плечо перевозки сопряжена с существенными логистическими издержками, что ставит под сомнение экономическую целесообразность такого варианта. В качестве альтернативы нередко рассматривается вывоз отходов на полигон твёрдых коммунальных отходов (ТКО) для захоронения, однако данный подход противоречит принципам экономики замкнутого цикла, ведёт к потере ценного вторичного сырья и создаёт дополнительную нагрузку на полигоны, которые в регионе и так испытывают дефицит свободных мощностей.

При реализации проектов реконструкции линейных гидротехнических объектов, в частности набережной г. Хабаровска, возникает типичная для многих субъектов Дальневосточного федерального округа дилемма: выбор между экономически затратной, но экологически предпочтительной переработкой и экономически менее обременительным, но экологически деструктивным захоронением. Для принятия обоснованного управленческого решения необходима комплексная эколого-экономическая оценка, учитывающая не только прямые затраты на транспортирование и переработку, но и экологический ущерб, предотвращённый в результате вовлечения отходов во вторичный оборот, а также социально-экономические эффекты для региона.

Целью настоящей работы является проведение эколого-экономической оценки обращения с отходами демонтажа, образующимися при реконструкции набережной г. Хабаровска, и обоснование рационального варианта их утилизации с учётом региональной специфики инфраструктуры обращения с отходами строительства и сноса.

Объекты и методы

Объектом исследования является реконструкция набережной в Центральном районе г. Хабаровска. Проектом предусмотрен демонтаж существующих гидротехнических сооружений с последующим устройством новых конструкций. Период строительства составляет 22,5 месяца, численность работающих достигает 76 человек, количество задействованной строительной техники – 40 единиц. Оценка образования отходов проведена в соответствии с требованиями природоохранного законодательства на основе проектных данных, ведомостей объёмов работ и нормативно-методических документов. В частности, использованы «Сборник удельных показателей образования отходов производства и потребления», а также положения СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» (актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*) [1], которые регламентируют, в том числе, нормативы накопления отходов и требования к организации мест временного хранения. Для каждого вида отходов определён код по Федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО) и класс опасности для окружающей среды.

Результаты и их обсуждение

В ходе строительно-демонтажных работ образуются отходы различных классов опасности, причём основная масса приходится на отходы IV и V классов, формирующиеся при демонтаже старых конструкций. Согласно расчётам, суммарное количество отходов демонтажа составляет 36 372,27 т, из которых лом железобетонных изделий (код 8 22 301 01 21 5) – 3 423,86 т, лом бетонных изделий (код 8 22 201 01 21 5) – 1 742,31 т, лом асфальтобетонных покрытий (код 8 30 200 01 71 4) – 3 472,46 т. Кроме того, в проекте учтён незагрязнённый песок (код 8 19 100 01 49 5) в объёме 27 733,64 т, который не отнесён к отходам и используется для обратной засыпки. Помимо демонтажных отходов, при эксплуатации строительного городка образуются мусор от офисных и бытовых помещений (код 7 33 100 01 72 4) в количестве 64,13 т, жидкие отходы выгребных ям (код 7 32 221 01 30 4) – 192,86 т, обтирочный материал, загрязнённый нефтепродуктами (код 9 19 204 02 60 4) – 3,71 т, а также осадок механической очистки нефтесодержащих сточных вод от мойки колёс (код 7 23 102 01 39 3) – 21,02 т. Распределение по классам опасности показывает, что отходы III класса составляют лишь 0,06 % от общей массы, IV класса – 9,7 %, а V класса (железобетонный и бетонный лом) – 90,24 %. Таким образом, доминирующим по массе видом являются практически неопасные отходы, что, однако, не снимает остроты проблемы их утилизации из-за крупнотоннажности и удалённости объектов переработки.

Согласно информации Министерства природных ресурсов Хабаровского края, в регионе отсутствуют мощности, позволяющие в полном объёме перерабатывать крупнотоннажные строительные отходы. Ближайшее предприятие, осуществляющее промышленную переработку железобетонного лома с получением вторичного щебня, – ООО «Фирма «Сталкер» – расположено в г. Комсомольске-на-Амуре, расстояние от строительной площадки до него составляет 430 км. Альтернативой является захоронение на полигоне твёрдых коммунальных отходов, эксплуатируемом ООО «РегСтройКом». Полигон находится на 61-м км автодороги Хабаровск – Находка, что значительно сокращает транспортное плечо. Данная ситуация иллюстрирует типичную для Дальневосточного федерального округа проблему: наличие перерабатывающих мощностей на значительном удалении от объектов генерации отходов при одновременной близости полигонов захоронения, что формирует экономический дисбаланс в пользу менее экологичного варианта.

Для выбора оптимального способа обращения с отходами демонтажа (суммарной массой 36 372,27 т) был проведён сравнительный анализ двух сценариев. Первый сценарий предусматривает транспортировку отходов в г. Комсомольск-на-Амуре на переработку в ООО «Фирма «Сталкер». Затраты на транспортировку (расстояние 430 км) составляют 97 423 488,92 руб., стоимость утилизации – 2 200 руб./т, что в сумме даёт 177 442 482,92 руб. Второй сценарий – захоронение на полигоне ТКО с доставкой автотранспортом на расстояние около 61 км. Затраты на транспортировку равны 26 136 741,73 руб., стоимость захоронения – 661,57 руб./т, что вместе составляет 50 199 544,39 руб. К ним добавляется плата за размещение отходов V класса, рассчитанная в

соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 10.07.2025 № 1852-р «Об утверждении ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду» [2]. С учётом ставки 21,12 руб./т, дополнительный платёж составляет 768 182,34 руб., а общие затраты по сценарию захоронения достигают 50 967 726,73 руб. Таким образом, экономические издержки при переработке оказываются более чем в 3,5 раза выше по сравнению с захоронением на ближайшем полигоне.

Однако эколого-экономическая оценка не может основываться исключительно на прямых затратах. С позиции принципов циркулярной экономики и долгосрочной экологической безопасности переработка имеет неоспоримые преимущества: она позволяет сохранить вторичные материальные ресурсы (железобетонный лом перерабатывается во вторичный щебень, используемый в дорожном строительстве), сократить площадь полигонов захоронения и снизить нагрузку на окружающую среду. При захоронении отходов V класса на полигоне ТКО, несмотря на его разрешённость действующим законодательством, теряется ресурсный потенциал отходов, а полигоны, особенно в условиях их дефицита в регионе, испытывают дополнительную нагрузку.

Проведённое исследование выявило ключевое противоречие между экономической целесообразностью (захоронение на ближайшем полигоне) и экологической предпочтительностью (переработка) при обращении с крупнотоннажными строительными отходами в условиях Хабаровского края. Для преодоления этого противоречия необходимы как развитие локальной инфраструктуры переработки, так и внедрение экономических механизмов, стимулирующих утилизацию. К таким механизмам можно отнести дифференциацию ставок платы за размещение отходов в зависимости от их вовлечения во вторичный оборот, расширение практики государственно-частного партнёрства при создании объектов переработки, а также включение в проектные требования по использованию вторичного сырья. В рассматриваемом проекте уже предусмотрены мероприятия, снижающие воздействие на окружающую среду в период строительства: устройство площадок временного складирования с твёрдым покрытием, отдельный сбор отходов, регулярный вывоз, а также последующая рекультивация нарушенных земель.

Выводы

На основе выполненной эколого-экономической оценки установлено, что при реконструкции набережной г. Хабаровска образуется 36 372,27 т отходов демонтажа, преимущественно железобетонного и бетонного лома. Вариант переработки в г. Комсомольске-на-Амуре сопряжён с затратами 177,4 млн руб., что в 3,5 раза превышает затраты на захоронение на региональном полигоне ТКО (50,97 млн руб.). Несмотря на экономическую нецелесообразность переработки в текущих условиях хозяйствования, в долгосрочной перспективе требуется развитие региональной инфраструктуры переработки и внедрение экономических механизмов, стимулирующих утилизацию строительных отходов. Комплексный подход, сочетающий экономические стимулы и

экологические требования, позволит приблизиться к реализации принципов устойчивого развития и экономики замкнутого цикла в строительном секторе Хабаровского края.

Список литературы

1. СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» (актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*).
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 10.07.2025 № 1852-р «Об утверждении ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду».

НЕВИДИМЫЙ СЛЕД ИИ: СКОЛЬКО В CO₂ СТОИТ ЗАПРОС?

Д.Ю. Евченко, Е.А. Корякина

Забайкальского института железнодорожного транспорта,
г. Чита

***Аннотация.** Прогресс в области искусственного интеллекта порождает дилемму: будучи признанным инструментом для преодоления различных экологических кризисов, он одновременно генерирует новые, значительные угрозы для окружающей среды, такие как выброс углекислого газа. В статье приводятся результаты эксперимента по взаимодействию с нейросетями с целью оценить углеродный след использования искусственного интеллекта на основе реальных пользовательских данных.*

В последние годы искусственный интеллект (ИИ) из технологии будущего очень быстро превратился в часть нашей повседневной жизни. Сегодня нейросети используются в учёбе, работе, программировании, поиске информации, переводе текстов, генерации изображений, создании видео и даже в обычном бытовом общении. Многие люди открывают чат-боты каждый день так же привычно, как раньше открывали поисковик. Искусственный интеллект стал удобным инструментом, который позволяет быстро получить ответ, идею, план, изображение или готовый текст.

Однако при всей внешней простоте и удобстве у этой технологии есть сторона, о которой большинство пользователей почти не задумывается. Когда мы отправляем запрос в нейросеть, кажется, что ничего особенного не происходит: текст просто появляется на экране. Но в реальности за этим стоит работа огромного количества вычислительных систем. Обработка каждого запроса требует серверных мощностей, электроэнергии, охлаждения оборудования, а значит – и определённых выбросов углекислого газа. Другими словами, даже один короткий запрос к ИИ имеет не только цифровую, но и вполне реальную физическую цену.

В условиях постоянного роста популярности ИИ возникает необходимость оценить его воздействие на окружающую среду и понять, от чего зависит величина этого воздействия. В связи с чем, целью работы стало оценить

углеродный след использования искусственного интеллекта на основе реальных пользовательских данных и выявить факторы, которые сильнее всего влияют на величину выбросов CO₂. Исходя из этой цели, была сформулирована гипотеза: массовое использование искусственного интеллекта действительно приводит к заметным выбросам CO₂, однако при более осознанном использовании и оптимизации технологий этот эффект можно существенно снизить.

Был поставлен эксперимент. В течение месяца автор фиксировал своё взаимодействие с нейросетями: количество запросов, их тип, наличие режима размышления, генерации изображений, число повторных попыток и общий характер задачи. Это было важно, потому что многие пользователи, часто недооценивают реальный масштаб своего обращения к таким системам.

Для оценки экологического следа недостаточно считать только количество запросов. Оказалось, что гораздо важнее учитывать их сложность. Один простой текстовый запрос и, например, генерация изображения – это не одно и то же с точки зрения вычислительных затрат. Поэтому работе использовали не только число запросов, но и ввели понятие вычислительной нагрузки.

Суть подхода заключалась в том, что каждому типу взаимодействия с ИИ присваивался условный коэффициент сложности. Обычный текстовый запрос принимался за базовый уровень. Если использовался режим размышления, нагрузка возрастала. Если была генерация изображения, она возрастала ещё сильнее. Видео и другие тяжёлые форматы в модели также рассматривались как более ресурсоёмкие. Дополнительным фактором становилось число повторных попыток, потому что каждая новая генерация или пересоздание ответа – это отдельный вычислительный процесс.

Таким образом, сначала рассчитывалась условная нагрузка, а затем уже она переводилась в углеродный след. В упрощённом виде расчёт можно представить так: нагрузка = количество запросов × коэффициент сложности × дополнительные коэффициенты (обычный запрос оценивался в 1, режим мышления в 2-3, генерация изображения в 5-8, видео до 20). После этого использовалась вторая часть модели: углеродный след = вычислительная нагрузка × коэффициент перевода в CO₂. (1 единица нагрузки оценивалась в 0,12г CO₂).

На основе эксперимента все дни были разделены на четыре сценария: лёгкие, обычные, активные и пиковые. В результате были получены следующие средние значения углеродного следа: лёгкие дни – около 0,16 г CO₂; обычные дни – около 0,68 г CO₂; активные дни – около 1,76 г CO₂; пиковые дни – около 2,16 г CO₂. Эти результаты показали очень важную закономерность: разница между лёгким и пиковым сценарием превышает 10 раз.

Существуют исследования крупных технологических компаний, таких как Google, OpenAI и научных организаций, например международное энергетическое агентство, которые подтверждают значительное энергопотребление систем искусственного интеллекта [1, 2, 3].

Главный фактор – не просто частота использования ИИ, а характер нагрузки. Иными словами, экологический след определяется не только тем, сколько раз человек обратился к нейросети, но и тем, какие именно задачи он ей

поставил. Простая консультация, короткий поиск или перевод текста, и сложная генерация изображения – это принципиально разные по ресурсоёмкости действия.

Если рассматривать модель условного среднего пользователя, то за год один человек может генерировать порядка 0,37 кг CO₂. Для 40 человек это уже около 15 кг CO₂ в год, а для 1000 человек – примерно 370 кг CO₂ в год. Даже такие приближённые расчёты показывают, как быстро маленькие индивидуальные значения превращаются в ощутимые коллективные выбросы. Чтобы сделать эти цифры более понятными, их можно сравнить с привычными вещами. Например, 15 кг CO₂ – это сопоставимо с автомобильной поездкой на несколько десятков километров, а 370 кг CO₂ уже соответствует существенно большему пути. Подобные сравнения нужны не для преувеличения, а для того, чтобы показать: даже действия, которые кажутся «нематериальными», всё равно имеют физические последствия.

Список литературы

1. Жук А. Воздействие искусственного интеллекта на окружающую среду: скрытые экологические издержки и этико-правовые вопросы // *Journal of Digital Technologies and Law*. – 2023. – № 1(4). – С. 932-954.
2. Hannah Ritchie What's the carbon footprint of using ChatGPT? [Http: // hannahritchie.substack.com/p/carbon-footprint-chatgpt](http://hannahritchie.substack.com/p/carbon-footprint-chatgpt).
3. Yu Y, Wang J, Liu Y, Yu P, Wang D, Zheng P, Zhang M. Revisit the environmental impact of artificial intelligence: the overlooked carbon emission source? // *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. 2024 Dec;18(12):158.

ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

СОВРЕМЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

Ю.Д. Исаева

Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. В статье рассматриваются современные алгоритмы обнаружения аномалий в данных экологического мониторинга. Анализируются особенности экологических данных и связанные с ними вызовы. Приводятся рекомендации по выбору алгоритма в зависимости от типа аномалии. Обсуждаются перспективы использования гибридных моделей и объяснимого ИИ для повышения надёжности обнаружения критических отклонений.

В условиях современного технологического развития информационно-измерительные системы (ИИС) экологического мониторинга играют ключевую

роль в обеспечении экологической безопасности. Такие системы генерируют непрерывные потоки многомерных данных высокой размерности, которые включают не только концентрации ключевых загрязнителей атмосферного воздуха, но и целый ряд сопутствующих метеорологических параметров, таких как температура, влажность, скорость и направление ветра, атмосферное давление и другие. Очевидно, что достоверность и своевременность этой информации является фундаментальной основой для объективной оценки экологических рисков, а также для оперативного реагирования на критические эпизоды загрязнения. Без надёжных методов обнаружения аномалий любые системы поддержки принятия решений теряют свою эффективность.

Для системного анализа обширного спектра методов обнаружения аномалий применительно к данным мониторинга атмосферного воздуха необходима многоаспектная классификация. Такой подход позволяет не только структурировать имеющиеся алгоритмы, но и выявить их сильные и слабые стороны в контексте конкретных задач экологического мониторинга.

1. Классификация по принципу работы

- Статистические (параметрические и непараметрические) методы. В основе этих методов лежит простое предположение: аномалия – это точка, маловероятная с точки зрения некоторого распределения данных. Параметрические методы предполагают, что данные подчиняются известному распределению (например, нормальному), тогда как непараметрические методы не делают строгих предположений о распределении, опираясь на порядковые статистики или ядерные оценки плотности. Ключевой характеристикой статистических методов является их чувствительность к стационарности данных. На практике это означает, что резкие, но вполне закономерные суточные пики концентраций, характерные, например, для утреннего часа пик, могут трактоваться такими методами как ложные выбросы, что является серьёзным ограничением.

- Методы, основанные на близости (расстоянии) и плотности. Алгоритмы этого класса, такие как Local Outlier Factor (LOF) и Isolation Forest, представляют собой более гибкую альтернативу статистическим подходам, поскольку они не делают априорных предположений о глобальном распределении данных. LOF вычисляет локальную плотность окружения для каждой точки: аномалией считается та точка, которая имеет существенно меньшую плотность, чем её соседи. Isolation Forest, в свою очередь, использует оригинальный принцип изоляции аномалий через рекурсивное случайное разбиение данных. Важно отметить, что данные методы способны работать с полным вектором наблюдений, включающим одновременно все измеряемые загрязнители и метеопараметры. Это позволяет им улавливать сложные многомерные аномалии, которые были бы невидны при анализе каждого параметра по отдельности. Однако у этого подхода есть и недостатки. Главный из них – игнорирование временной зависимости. Временная метка рассматривается лишь как ещё один признак без учёта порядка следования наблюдений. Следовательно, точка с высоким, но закономерным сезонным пиком будет трактоваться как выброс, если таких пиков в датасете мало [1]. Это ограничение существенно снижает

применимость чистых методов близости к временным рядам экологических данных.

- Реконструкционные методы. Эти методы основаны на идее сжатия и восстановления данных. Предполагается, что аномалии, не соответствующие основным паттернам в данных, будут иметь высокую ошибку восстановления. К данному классу относятся автокодировщики, методы главных компонент (РСА) и другие алгоритмы снижения размерности. Они особенно эффективны в случаях, когда нормальное поведение системы можно описать относительно низкоразмерным многообразием.

- Гибридные и предметно-ориентированные методы. Как показывает практика, ни один из базовых подходов в отдельности не является универсальным. Поэтому перспективным направлением становится комбинация нескольких базовых методов, а также включение в алгоритмы предметных знаний из области экологии и физики атмосферы.

2. Классификация по типу обучения

- Обучение с учителем. В этом сценарии предполагается наличие размеченной выборки, где известны как нормальные, так и аномальные наблюдения. Однако здесь критически важна корректность предположения о том, что большинство данных является нормальными. Проблема в том, что длительные периоды загрязнения (например, смог или устойчивый инверсионный слой) могут быть усвоены моделью как новая норма, что впоследствии приведёт к пропуску действительно критических аномалий.

- Обучение с частичным привлечением учителя (one-class classification). Этот подход более реалистичен для задач экологического мониторинга. Модель обучается исключительно на исторических данных, которые прошли тщательную экспертизу и признаны нормальными. Затем, в процессе эксплуатации, алгоритм обнаруживает любые значимые отклонения от этого изученного нормального поведения. Такой метод не требует разметки аномалий, поскольку аномальные события редки и разнообразны.

3. Классификация по учёту специфики данных

- Методы для изолированных точек данных. Эти методы анализируют каждое наблюдение независимо от других. Они могут учитывать временную зависимость, но работают с каждым параметром выброса по отдельности. Основной недостаток заключается в том, что они не учитывают взаимосвязи между различными загрязнителями. Это ведёт к ложным срабатываниям, поскольку, например, одновременный рост концентрации двух коррелирующих веществ может быть нормой, тогда как рост одного при неизменности другого – аномалией [2].

- Методы для многомерных данных. В отличие от предыдущего класса, эти методы работают с вектором наблюдений по всем параметрам одновременно. Они способны выявлять сложные корреляции и паттерны, недоступные при одномерном анализе.

- Методы для пространственно-временных данных. Наиболее продвинутый и адекватный класс для задач атмосферного мониторинга. Эти

методы моделируют как временную динамику (тренды, сезонность, автокорреляцию), так и пространственные корреляции между разными точками наблюдения [3]. Например, аномалией может считаться ситуация, когда на одном посту наблюдается резкий скачок загрязнителя, а на соседних – нет, либо, напротив, синхронное изменение всей сети датчиков.

Отдельного внимания заслуживает вопрос о том, как результаты работы алгоритмов обнаружения аномалий должны быть представлены конечному пользователю. Современные тенденции в области объяснимого искусственного интеллекта показывают, что даже самый точный алгоритм рискует остаться невостребованным, если его выводы непрозрачны или противоречат интуиции специалиста. В контексте экологического мониторинга это означает, что система не должна просто выдавать бинарный сигнал «норма / аномалия». Необходимо предоставлять дополнительную контекстную информацию: какие именно параметры (или комбинация параметров) привели к аномальному решению, насколько сильно наблюдаемое отклонение превышает типичные сезонные колебания, имеются ли аналогичные отклонения на соседних постах наблюдения [4]. Таким образом, перспективные системы обнаружения аномалий должны развиваться не в сторону полной автоматизации, а в сторону интеллектуального ассистирования, где алгоритм берёт на себя рутинный анализ больших объёмов данных, а человек сохраняет за собой ключевую роль в интерпретации и принятии ответственных экологических решений.

Анализ этих алгоритмов позволяет утверждать, что ни один из рассмотренных классов методов в своём первоначальном, «чистом» виде не является полностью адекватным для комплексной задачи обнаружения аномалий в данных ИИС мониторинга атмосферного воздуха. Каждый из подходов имеет свои ограничения, будь то игнорирование временной структуры, чувствительность к нестационарности, необходимость в размеченных данных или неспособность учитывать пространственные взаимосвязи. Наиболее перспективный путь в данной области лежит в разработке гибридных моделей пространственно-временного типа. Такие модели должны сочетать способность глубокого обучения выявлять сложные, нелинейные паттерны в многомерных данных с возможностью интерпретации результатов для специалистов-экологов, принимающих ответственные решения.

Список литературы

1. Звягинцева А.В. Анализ моделей классификации для распознавания прецедентных событий в технологических процессах добычи нефти и газа / А.В. Звягинцева, И.Ю. Ковалев // Проблемы искусственного интеллекта. – 2025. – № 2. – С. 66-78.
2. Попов Е.В. Эволюция цифровых технологий управления территорией / Е.В. Попов // Экономика и управление. – 2025. – № 3. – С. 267-281.
3. Gaikar D. Prediction of Air Quality Index using Random Forest Algorithm / D. Gaikar // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). – 2023. – Volume 10, Issue 04. – Pp.1248-1252.

4. Patel D. *Artificial Intelligence for Air Quality and Control Systems* / D. Patel // *Modeling and Simulation of Environmental Systems: A Computation Approach*. – 1st ed. – Boca Raton : CRC Press (Taylor & Francis Group), 2022. – P. 20.

ЭТАПЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МНОГОЛЕТНИХ УРОВНЕЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ФИТО- И АГРОЦЕНОЗОВ

А.В. Волков

Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** Рассмотрены аспекты анализа, оценки и прогноза многолетних величин продуктивности наземных фито- и агроценозов в условиях изменения климата, а также основные этапы расчёта уровней продуктивности (на примере Тульской области).*

Исследования, ориентированные на анализ, оценку и прогноз динамики формирования продукции фито- и агроценозов в условиях изменения климата, на разработку моделей биопродуктивности и прогнозных заключений об ожидаемых уровнях биологической продукции регионов, актуальны и практически значимы.

По мнению специалистов ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (Москва), одной из наиболее актуальных задач, стоящих перед геоэкологией и агрономией, является повышение урожайности фито- и агроценозов [1]. Для этого необходимо «информационное сопровождение производственных процессов, обеспечивающее адаптацию номинальных параметров технологий к реальным почвенно-климатическим характеристикам ландшафтов..., а также прогнозирование урожайности и производственных рисков». Авторы подчёркивают, что «использование моделей формирования урожая в управлении процессом выращивания продукции имеет высокий потенциал». Подобного рода модели востребованы для решения как практических, так и теоретических задач.

В научной литературе представлен широкий спектр удачных моделей, достоверно отражающих *корреляционные связи* между входом и выходом изучаемых систем, в ущерб представлению внутренних механизмов их развития. Правда, других, столь же мощных, средств исследования экологической физиологии растений в настоящее время не существует. В целом, «использование моделей роста и развития растений в управлении сельскохозяйственным производством... является одним из действенных средств повышения урожайности и рационального использования природных ресурсов» [1].

По мнению доктора сельскохозяйственных наук О.В. Рулевы [2], необходимость в математическом моделировании естественных и искусственных фитоценозов возникла при решении вопросов, сформулированных в статьях российского и советского геоботаника академика В.Н. Сукачева. В частности,

актуальной названа задача расчёта прироста за вегетацию биомассы кукурузы на основе *логической функции*; для этого применялись инструменты программного продукта «*Statistica*» [2].

В работе [3] отмечается, что чаще всего продукционный потенциал агроландшафтов оценивается по *средней урожайности* культур. В свою очередь, величина урожайности зависит от климатических, почвенных, агротехнологических, антропогенных и иных факторов. Анализ подобных связей позволяет установить закономерности формирования биологической продукции, пределы колебания урожайности в различных условиях среды.

Поэтому целью исследования заявлено выявление факторов, определяющих особенности пространственно-временной динамики продуктивности многолетних трав в различных ландшафтных и агроклиматических условиях. Результаты мониторинга урожайности обрабатывались инструментами программного продукта «*Statistica*» [3].

Авторы [4] утверждают, и мы разделяем эту гипотезу, что формирование урожаев растений находится *под контролем солнечной активности*. «Поэтому есть основания полагать, что учёт временных вариаций солнечной активности... позволит адекватнее описать как общий характер влияния на урожай основных метеорологических элементов – температуры и осадков, так и долевого вклад каждого из них в продукционный процесс». Статистическая обработка данных, отражающих влияние вариаций параметров солнечной активности, метеорологических условий территории и доз внесения удобрений на урожайность многолетних трав, проводилась в программном продукте «*Statistica*». Подчёркивается наличие значимой корреляции всех ключевых признаков фитоценозов с величинами относительных чисел Вольфа, что указывает на универсальный характер влияния активности Солнца на системы биосферы [4].

Авторы [5, 6] также констатируют, что «математическое моделирование роста и продуктивности агроценозов – одна из актуальных задач в области изучения экологических систем. Особенно актуальны разработки..., которые могут использоваться как в научных, так и в практических целях. Такие модели успешно применяют для изучения закономерностей продукционного процесса растений, а также для прогнозирования и управления процессом формирования урожая. <Тем не менее, ...> вопрос разработки и применения на практике несложной, но достаточно точной модели развития сельскохозяйственных культур остается открытым». В работе рассмотрена специфика построения математической модели сезонной динамики продуктивности агроценозов, в зависимости от температуры воздуха и уровня внесения удобрений [5].

В статьях [7-9] рассматривается характер изменения степени засушливости экосистем Степного Крыма в XXI веке, в связи с эффектами глобального потепления, на базе разработанной авторами модели формирования водно-термического режима агроценозов. Модель включает три группы параметров: метеорологические характеристики территории; гидрофизические параметры почв; характеристики состояния растительного покрова. В частности, учитываются изменения температуры воздуха, осадков, испарения, поверхностного стока, транспирации и других ключевых параметров для разных

сценариев изменения климата. Наиболее вероятный сценарий предполагает рост температуры воздуха, сокращение выпадающих осадков и суммарного испарения влаги, составляющего 96 % от осадков. Изменения подземного и поверхностного стоков, сокращение влагозапасов почвы также будут существенны.

В работе специалистов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» рассмотрены вегетационные индексы агроценозов. Показано, что индекс *SAVI* (*Soil Adjusted VI*) – почвенный индекс растительности – может применяться для анализа и прогноза урожайности зерновых культур [10, 11]. Статистический анализ данных показал нелинейную зависимость между величинами индекса и урожайностью, приближаемую регрессионной моделью – полиномом 4-й степени ($R = 0,904$). Повышение адекватности прогноза требует учёта погодных условий и показателей плодородия почв.

Заявляемый нами подход к анализу, оценке и прогнозу продуктивности фито- и агроценозов предполагает учёт следующих ключевых периодов года: Z – морозного, X – холодного (СП 50.13330.2024 от 16.06.24 г.) и Y – тёплого (рис. 1).

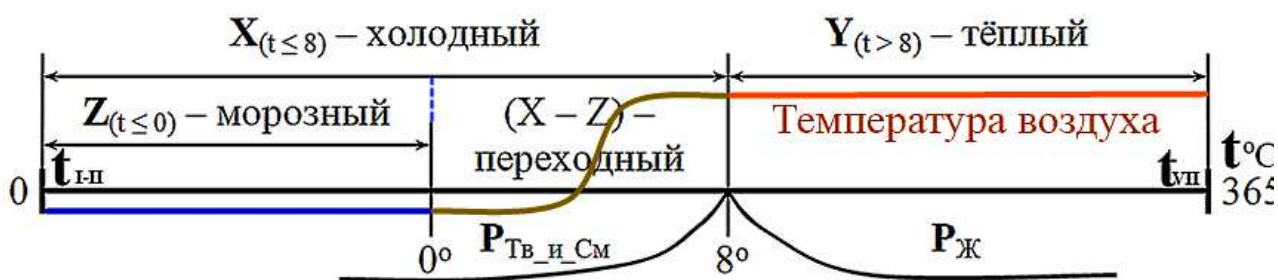


Рис. 1. Учитываемые фазы года и соответствующие им суммы осадков:
 $P_{Тв-См}$ – в твёрдых и смешанных фазах, $P_{ж}$ – в жидкой фазе

Расчёт годовой суммы испаряемости (E_o , мм/год), то есть максимального количества воды, уходящей с 1 м^2 поверхности чистого пресного водоёма при текущих условиях, а также испарения (E , мм/год), ведётся по структурно единой формуле:

$$E_o = k_1 \cdot E_{oM} + k_2 \cdot E_{oП} + k_3 \cdot E_{oT},$$

где k_1 , k_2 , k_3 – коэффициенты, $\sum k_i \approx 12$ месяцев; E_{oM} , $E_{oП}$, E_{oT} – испаряемость в морозный, переходный и тёплый периоды года. Для оценки компонентов испаряемости (рис. 2) и испарения – с поверхности типа «лес» и «луг» – привлекаются стандартные формулы физической географии.

Далее рассматривается многолетняя величина коэффициента увлажнения территории K (по Н. Н. Иванову), показывающего, в какой мере осадки (P) компенсируют испаряемость (E_o): $K = P / E_o$ (рис. 2). Численное значение K позволяет установить принадлежность фитоценоза конкретной ландшафтной зоне, а также спрогнозировать преобладающий тип растительного покрова в условиях, предшествующих наиболее интенсивному освоению территорий.

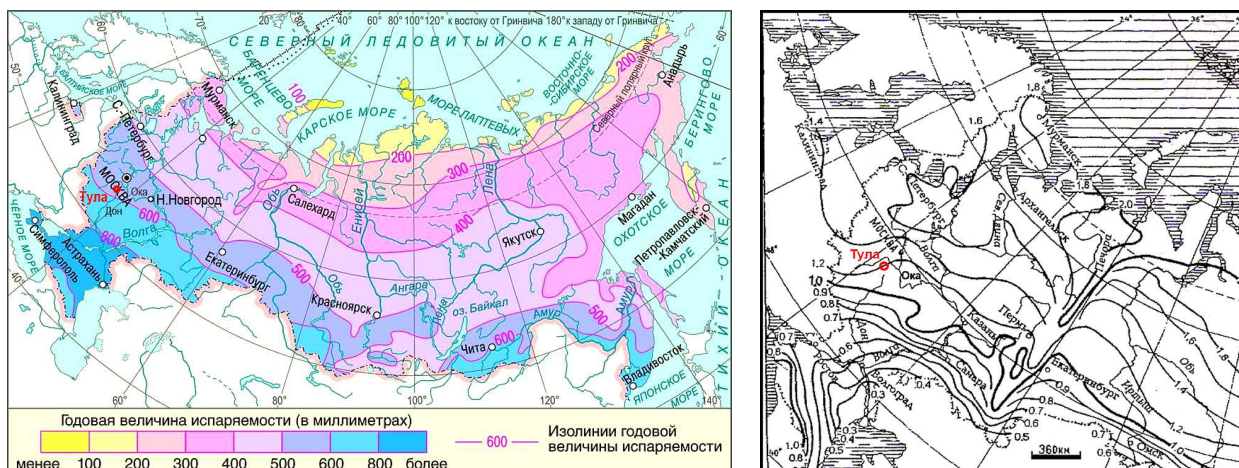


Рис. 2. Распределение годовых сумм испаряемости E_o (слева) и коэффициента увлажнения K (справа) по территории РФ

Многолетняя величина чистой первичной продукции фитоценоза (M_2 , т/(га × год), которая представлена суммой надземной и подземной продукции, оценивается по формуле: $M_2 = M_{2\text{-надзем.}} + M_{2\text{-подзем.}} = 10^Q$, где Q – дробный показатель степени. В графическом виде используемая модель приведена на рис. 3. В этой модели $W = \lg(E)$ при $300 \leq E \leq 747$ мм/год и $Q = \lg(M)$ при $7 \leq M \leq 20$ т/[га·год].

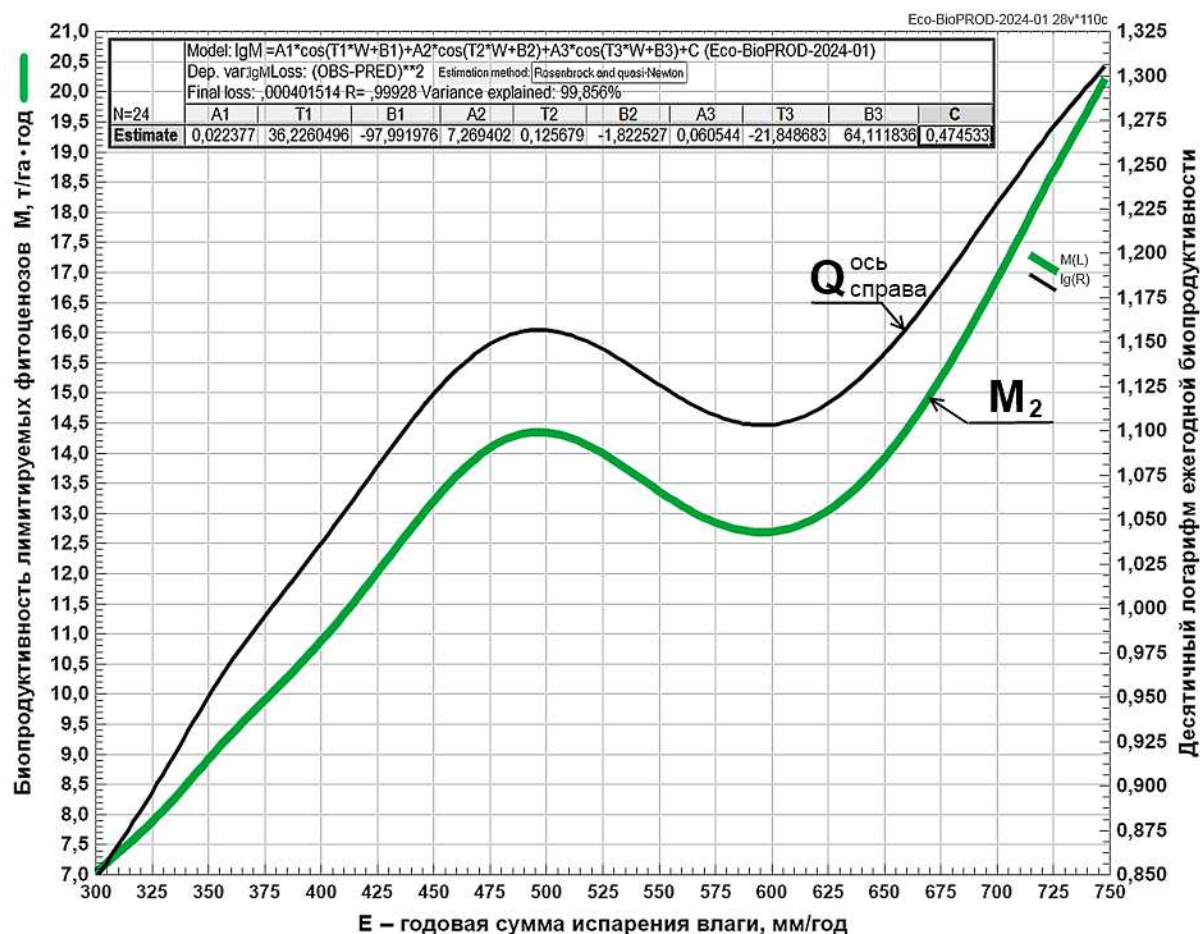


Рис. 3. Графическое представление модели чистой первичной продуктивности естественных фитоценозов, лимитируемых факторами окружающей среды

В целом, увеличению величины M_2 способствует «снятие» экологических ограничений; снижению величины M_2 – усиление действия экологических ограничений, в т. ч. рост аридизации регионального климата.

Влияние на величину продуктивности фитоценоза экспозиции склона ($K_{СК}$), в зависимости от дирекционного угла направления склона S , позволяет модель, приведённая на рис. 4; в её основу положены данные работы [12]. По мнению специалистов Республики Беларусь, экспозиция склона сказывается на микроклимате, содержании влаги в почве и иных условиях вегетации растений. На склонах северных и восточных экспозиций мощность снежного покрова, запас воды перед снеготаянием и её накопление в почве после снеготаяния выше, чем на склонах южных и западных экспозиций; как следствие, может оказаться выше и величина продуктивности фитоценозов.

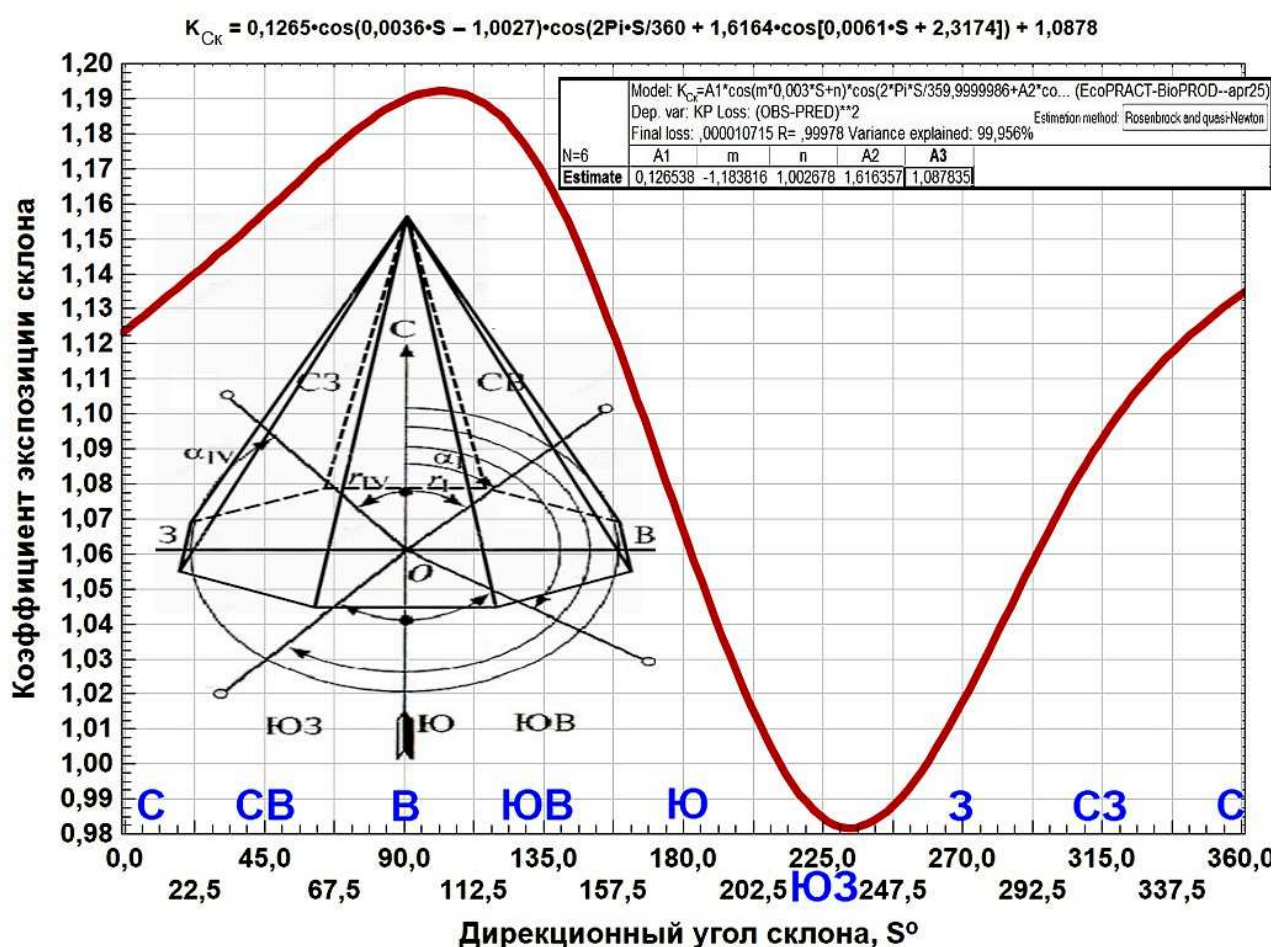


Рис. 4. Экспозиция склонов по сторонам света и величина коэффициента $K_{СК}$ для учёта экспозиции склона

Биомасса надземной части природного фитоценоза ($\tilde{M}_{2\text{-надзем.}}$, т/[га·год]; $M_{\text{надзем.}} \approx 0,6 \cdot M$) устанавливается по формуле:

$$\tilde{M}_{2\text{-надзем.}} = (1,4763 - \sqrt{D}) / 0,006, \text{ где } D = 2,196 - 0,012 \cdot \tilde{M}_2.$$

По актуальным для текущего или прогнозного года данным, определяется сумма испаряемости за один месяц наиболее тёплого периода года (E_{OT} , мм/мес), а также соответствующая ей относительная влажность (рис. 5).

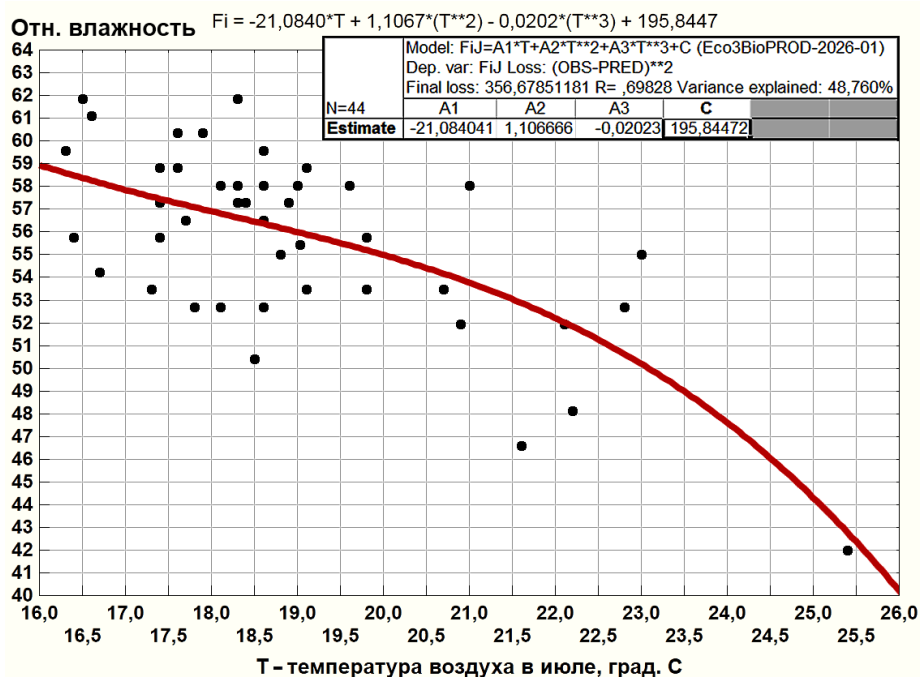


Рис. 5. Зависимость влажности самого тёплого месяца от температуры воздуха

Прогноз величин среднесуточной температуры воздуха наиболее тёплого месяца года (t_T), начиная с текущего года (t_0), базируется на линейном тренде, обсуждаемом в ежегодных докладах о климате РФ Росгидромета: $t_T \approx t_0 + 0,06 \cdot d$, где d – количество полных лет, прошедших после t_0 .

Оценить многолетнюю величину годовой суммы испарения влаги E (мм/год) позволяет эмпирическая формула $E \approx \tilde{k} \cdot E_{oT} \approx 2,785 \cdot E_{oT}$, где $\tilde{k} \approx 2,785 \pm \Delta$ – эмпирический коэффициент, связывающий величины E_{oT} и E .

Оценка многолетнего уровня величин чистой первичной продукции агроценоза M_2 (т/[га·год]) по величине E (мм/год) позволяет модель, в графическом виде показанная на рис. 6. В этой модели $0 \leq E \leq 1100$ мм/год и $0 \leq M_2 \leq 40$ т/[га·год].



Рис. 6. Графическое представление модели чистой первичной продуктивности датируемого агроценоза, а также естественного фитоценоза в благоприятной среде

Для перехода к уровню ежегодной урожайности зерновых агроценозов учитывается набор коэффициентов:

- коэффициент «зерно:солома» (1 : 1,2), в оценке наземной чистой первичной продукции: $K_{ЗС} \approx 0,455$.

- коэффициент потерь части урожая от повреждения посевов болезнями и вредителями: $K_B \approx 0,85$.

- коэффициент полегания и осыпания зерновых культур: $K_O \approx 0,9$.

- коэффициент перехода от бункерного веса к «чистому весу»: $K_Ч \approx 0,96$.

Тогда оценка уровня урожайности зерновых имеет вид (ц / [га·год]):

$$M = K_{ЗС} \times K_B \times K_O \times K_Ч \times \tilde{M}_{2\text{-надзем.}}$$

Аналитический переход от величин многолетних *уровней* урожайности зерновых культур (ц/га) к оценке *средней фактической урожайности* по региону (на примере Тульской области, ц/га) выполняется на основе двухпараметрической регрессии вида:

$$\text{Урожай (ц/га)} = 10^R,$$

где $R = f(A, B)$ – дробный показатель степени; $A = \lg$ (многолетний уровень урожайности, ц/га), $B = \lg$ (доза внесения удобрений, кг/га на 100 % д. в.).

В графическом виде модель показана на рис. 7.

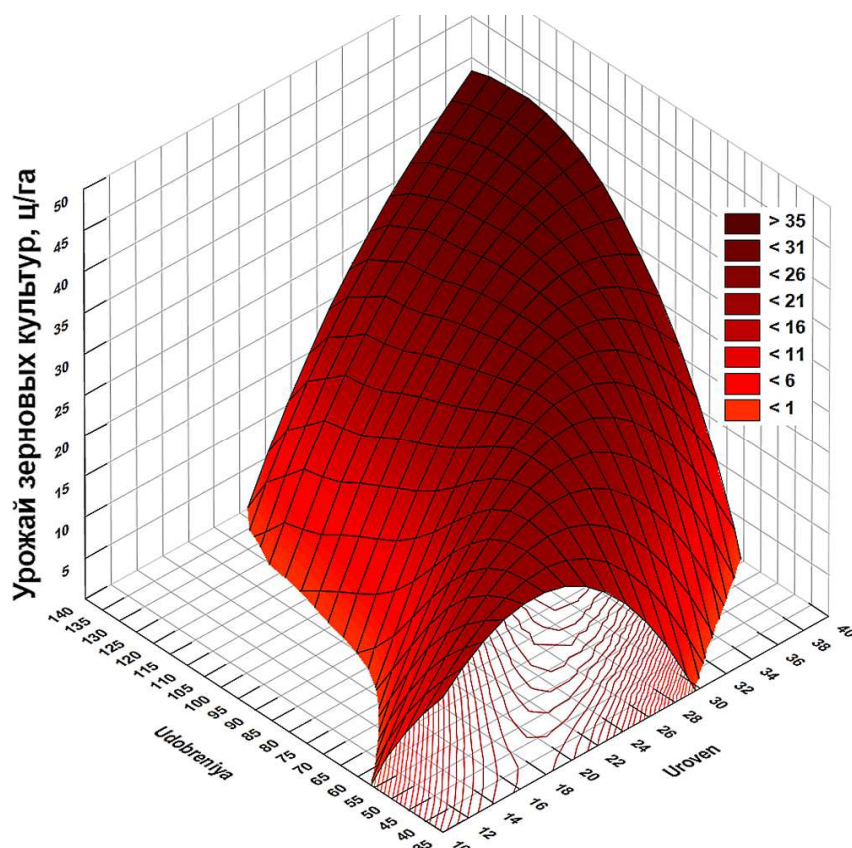


Рис. 7. Зависимость оценки средних урожаев зерновых культур (ц/га) от величины уровня урожайности (ц/га) и дозы вносимых удобрений (кг/га на 100 % д. в.)

Наконец, многолетние уровни урожайности зерновых и зернобобовых культур в Тульской области, по фактическим и модельным значениям, начиная с 1990 года, представлены на рис. 8.

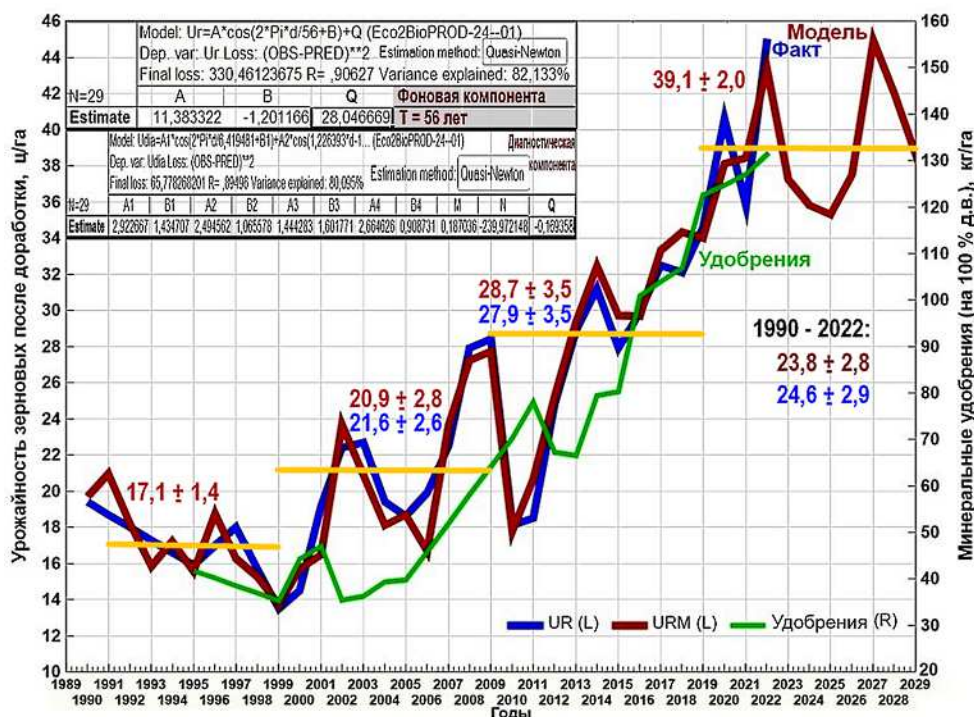


Рис. 9. Многолетняя динамика урожайности зерновых и зернобобовых культур в Тульской области (ц/га), а также осреднённых за ряд лет уровней урожайности

Данная модель совмещает логистическую компоненту, обсуждаемую в работе [2], и ряд колебательных компонент.

Список литературы

1. Добрачев Ю.П. Модели роста и развития растений и задача повышения урожайности / Ю.П. Добрачев, А.Л. Соколов // Природообустройство. – 2016. – № 3. – С. 90-96. – EDN WJLCRD.
2. Рулева О.В. Прогноз формирования биомассы кукурузы в орошаемых агролесоландшафтах / О.В. Рулева, Н.Н. Овечко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2015. – № 5. – С. 15-18. – EDN UKDYIT.
3. Иванов Д.А. Изучение динамики продуктивности трав на основе данных многолетнего мониторинга / Д.А. Иванов, О.В. Карасева, М.В. Рублюк // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2021. – Т. 22, № 1. – С. 76-84. – DOI 10.30766/2072-9081.2021.22.1.76-84. – EDN XMOOUN.
4. Костюк В.И. Влияние гелиогеофизических условий, метеорологических факторов и удобрений на продуктивность многолетних трав в условиях Кольского Севера / В.И. Костюк, М.И. Вихман // Агрохимия. – 2012. – № 9. – С. 76-83. – EDN PDEQXX.
5. Куссуль Н.Н. Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS / Н.Н. Куссуль [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. – Вып. 1. – С. 95-107.
6. Письман Т.И. Определение сезонной динамики урожайности агроценозов на основе спутниковой информации и математической модели / Т.И. Письман, И.Ю. Ботвич, А.Ф. Сидько // Известия Российской академии наук.

Серия биологическая. – 2014. – № 2. – С. 196-202. – DOI 10.7868/S0002332914020106. – EDN RVAJGV.

7. Гусев Е.М. Сценарное прогнозирование изменения влагообеспеченности экосистем Степного Крыма в XXI веке / Е.М. Гусев, О.Н. Насонова, Е.Э. Ковалев // Аридные экосистемы. – 2024. – Т. 30, № 1(98). – С. 3-21. – DOI 10.24412/1993-3916-2024-1-3-21. – EDN XVDFXG.

8. Гусев Е.М. Водная безопасность Степного Крыма и возможные пути её повышения / Е.М. Гусев, Л.Я. Джоган, О.Н. Насонова // Водные ресурсы. 2022. – Т. 49. – № 4. – С. 382-394.

9. Гусев Е.М. Сценарное прогнозирование изменения влагообеспеченности посевов пшеницы в степном Крыму в XXI в. и ряд мер по увеличению эффективности ее возделывания / Е.М. Гусев, Л.Я. Джоган, О.Н. Насонова, Е.Э. Ковалев // Почвоведение. – 2021. – № 5. – С. 620-630.

10. Сабирзянов А.М., Панасюк М.В., Аширбеков Ш.У. Корреляция урожайности зерновых культур и вегетационного индекса SAVI на территории Республики Татарстан / А.М. Сабирзянов, М.В. Панасюк, Ш.У. Аширбеков // Региональные геосистемы. – 2024. – Т. 48. – № 1. – С. 91-105. – DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-1-91-105.

11. Белоусова А.П. Применение вегетационных индексов при анализе использования пахотных угодий (на примере Уинского района Пермского края) / А.П. Белоусова // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. – 2019. – № 24(4). – С. 208-218. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-208-218.

12. Афонченко Н.В. Влияние рельефа на урожай культур в склоновом агроландшафте центрально-черноземного района: [сайт]. – URL: <https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/9796/1/Afonchenko-N-V-Vliyanie-relefa-na-urozhaj-kultur-v-sklonovom-agrolandshafte-Centralno-CHernozemnogo-rajona.pdf> (дата обращения: 02.02.2026).

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

А.А. Маслова, В.А. Браун
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. В статье рассмотрен комплексный показатель загрязнения сточных вод, представляющий собой интегральную метрику, отражающую совокупное состояние водного объекта по всем контролируемым параметрам. Его применение для прогнозирования позволяет не только фиксировать текущие отклонения, но и предсказывать развитие неблагоприятных ситуаций, выявлять скрытые тренды и своевременно реагировать на риски.

В современных условиях антропогенное воздействие на водные объекты России и мира достигло критических масштабов. Более 80 % сточных вод

сбрасываются в окружающую среду без достаточной очистки, что приводит к ухудшению качества воды, гибели водных организмов и создаёт угрозу для здоровья населения [1-2].

Существующие методы контроля качества воды часто основаны на анализе отдельных показателей (например, БПК, ХПК, содержание тяжёлых металлов и др.), что не позволяет получить целостную картину загрязнения. В то же время, нормативные документы и требования к составу сточных вод становятся всё более жёсткими, а автоматизированные системы контроля требуют интеграции множества параметров для оперативного мониторинга и принятия управленческих решений [3-4].

Комплексный показатель загрязнения сточных вод – это интегральная метрика, отражающая совокупное состояние водного объекта по всем контролируемым параметрам. Его применение для прогнозирования позволяет не только фиксировать текущие отклонения, но и предсказывать развитие неблагоприятных ситуаций, выявлять скрытые тренды и своевременно реагировать на риски.

Предлагаемый комплексный показатель оценки загрязнения сточных вод позволяет объединить разнородные данные (концентрация различных веществ, pH, температура, мутность и др.), выявить скрытые тенденции (даже если отдельные параметры в норме, их сочетание может свидетельствовать о риске), оперативно реагировать (происходит автоматическое определение момента перехода стока в неблагоприятное состояние), а также прогнозировать возможные аварийные или критические ситуации в краткосрочной и долгосрочной перспективе [5].

Комплексный показатель загрязнения сточных вод – это не только инструмент экологического мониторинга, но и основа для принятия управленческих решений, направленных на защиту водных ресурсов, сохранение биоразнообразия и обеспечение санитарно-эпидемиологической безопасности населения. Его разработка и внедрение отвечают стратегическим задачам устойчивого развития и экологической безопасности России.

Комплексный показатель $I(t)$ рассчитывается на основе актуальных данных системы мониторинга, который позволяет объективно и оперативно оценивать текущее состояние стока по совокупности всех контролируемых параметров:

$$I_i = \sum_{j=1}^n g_{ijnorm} \cdot \omega_{j,1}, (i = \overline{1..m}),$$

где I_i – комплексный показатель в момент времени t ; где g_{ijnorm} – элементы нормированной матрицы (нормированные значения учитываемых параметров загрязнения сточных вод); ω_i – весовой коэффициент значимости параметра, характеризующего исследуемый фактор.

Каждый новый вектор измерений ранжируется по комплексному показателю $I(t)$, и в результате формируется последовательность $I(t_1), I(t_2), \dots, I(t_n)$, где n – количество наблюдений.

Для расчета комплексного показателя загрязнения сточных вод производится выбор и нормализация параметров. Для этого определяется перечень ключевых параметров $p_1, p_2, \dots, p_n$, влияющих на качество стока.

Для каждого параметра устанавливаются нормативные значения (ПДК, санитарные нормы и т.д.).

Все значения приводятся к безразмерному виду, чтобы обеспечить сопоставимость:

$$g_{ijnorm} = \frac{g_{ij}}{g_{ij}^{don}},$$

где g_{ij}^{don} – допустимое значение по j -му параметру исследуемого стока в разные моменты времени.

Вводятся весовые коэффициенты ω для каждого параметра в зависимости от его значимости для экологии и безопасности, строится вектор-столбец весовых коэффициентов:

$$\omega = [\omega_{i^*,1}], \quad (i^* = \overline{1..n}).$$

Веса определяются экспертным путем. Чем больше значение весового коэффициента, тем большее значение имеет этот показатель по сравнению с другими. Сумма весов обычно нормируется:

$$\sum \omega_{i^*} = 1.$$

Далее проводится анализ динамики и выявление трендов

Строится график $I(t)$ и анализируется его поведение во времени. Применяются методы сглаживания (например, скользящее среднее), чтобы выделить основные тенденции и исключить случайные колебания.

Определяются пороговые значения на основе анализа исторических данных и экспертных оценок:

$I_{норм}$ – нормальное состояние; $I < I_{норм}$ – благоприятная ситуация;

$I_{пред}$ – предкритическое состояние; $I_{норм} \leq I < I_{крит}$ – предкритическая ситуация;

$I_{крит}$ – критическое (неблагоприятное) состояние; $I \geq I_{крит}$ – неблагоприятная (критическая) ситуация.

При превышении порогов автоматически формируются предупреждения для операторов или запускаются защитные механизмы.

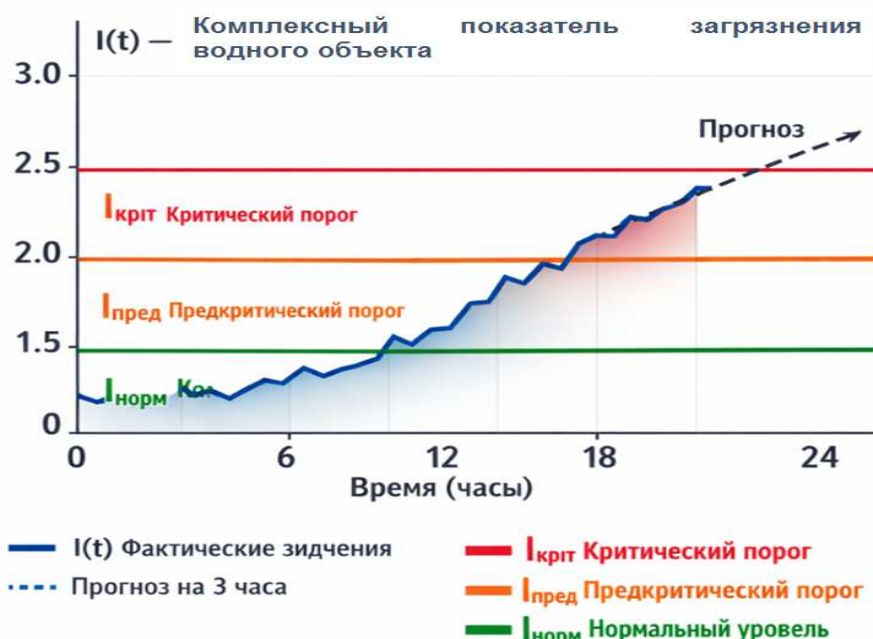
Прогнозирование с помощью комплексного показателя оценки загрязнения сточных вод осуществляется с помощью моделей временных рядов. Для прогнозирования будущих значений $I(t)$ используются нейронные сети.

При проведении оценки вероятности наступления неблагоприятных ситуаций модель выдаёт прогноз $I_{прогноз}(t+\Delta t)$ на будущий момент времени.

Если прогнозируемое значение превышает порог $I_{пред}$ или $I_{крит}$, формируется предупреждение о риске загрязнения.

На графике представлена динамика интегрального показателя загрязнения сточных вод $I(t)$ в течение суток. Такой визуальный инструмент позволяет не

только отслеживать текущее состояние, но и прогнозировать развитие ситуации (рисунок).



Динамика интегрального показателя загрязнения сточных вод $I(t)$ в течение суток

В начале суток показатель находится в пределах нормы. К середине суток наблюдается рост $I(t)$, приближающийся к предкритическому порогу. Прогноз показывает, что через 3 часа значение может превысить критический уровень, что требует принятия мер.

Практическое значение интегрального показателя загрязнения сточных вод:

- раннее предупреждение — система сигнализирует о риске до фактического превышения критического порога;
- оперативное реагирование — позволяет своевременно корректировать технологические процессы или усиливать контроль;
- автоматизация — график может быть интегрирован в SCADA-систему для автоматического запуска сценариев реагирования.

График наглядно демонстрирует, как интегральный показатель $I(t)$ и его прогноз помогают выявлять тенденции и предотвращать неблагоприятные ситуации на ранних стадиях.

Внедрение комплексного показателя загрязнения сточных вод позволяет [6]:

- объективно оценивать степень воздействия сточных вод на водные объекты, учитывая совокупность всех основных загрязняющих веществ и их синергетический эффект;
- оперативно выявлять аварийные и нештатные ситуации, связанные с превышением нормативов, и своевременно реагировать на них;
- автоматизировать процесс мониторинга, что особенно важно для крупных предприятий и городских систем водоотведения, где требуется постоянный контроль множества параметров;

- повысить эффективность работы очистных сооружений за счёт более точной настройки технологических процессов и оптимизации затрат на реагенты и обслуживание;
- обеспечить соответствие требованиям российского законодательства, предусматривающим автоматический контроль и передачу данных о составе сточных вод.

Список литературы

1. Маркин В.Н. Некоторые вопросы организации мониторинга водных объектов в современных условиях / В.Н. Маркин, В.В. Шабанов // *Природообустройство*. – 2012. – № 3. – С. 70-76.
2. Сучилина З.А. Краткосрочное прогнозирование стока реки Уссури: методика и специфика / З.А. Сучилина, Б.И. Гарцман, Л.В. Гончуков // *Гидросфера. Опасные процессы и явления*. – 2024. – Т. 6. – Вып. 3. – С. 231-249.
3. Бейсуг О.И. Методология и методы оценки состояния водных экосистем / О.И. Бейсуг, Л.М. Предеина // *Глобальная ядерная безопасность*. – 2014. – № 1 (10). – С. 5-9.
4. Слабунова А.В. Современное состояние системы мониторинга окружающей среды в аспекте оценки диффузного загрязнения водных объектов / А.В. Слабунова, В.В. Слабунов, А.П. Сурувикина // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. – 2020. – № 4 (40). – С. 103 – 121.
5. Панарин М.В. Автоматизированная система контроля выбросов загрязняющих веществ на источниках промышленных предприятий / М.В. Панарин, А.А. Маслова, С.А. Савинкова, В.М. Панарин // *Экология и промышленность России*. – 2021. – Т. 25, № 6. – С. 44-48.
6. Панарин В.М. Обзор методов контроля и оценки сточных вод при условии многоточечного сброса загрязняющих веществ / В.М. Панарин, А.А. Маслова, Е.М. Рылеева, В.А. Браун // *Вестник ДонНУ. Серия Г: Технические науки*. – 2025. – № 1. – С. 11-19.

ЭВОЛЮЦИЯ НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ И КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ РОССИИ

Р.С. Бахтиярова, Э.Д. Хизяпова

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа

Аннотация. Статья посвящена анализу эволюции нормативно-методической базы и концептуальных подходов к разработке климатических проектов в нефтедобывающей отрасли России. Рассмотрены ключевые этапы становления углеродного регулирования на федеральном уровне, его влияние на формирование корпоративных стратегий низкоуглеродного развития и практическую деятельность предприятий. Особое внимание уделено методологическим основам оценки углеродного следа, выбору мероприятий по

снижению выбросов парниковых газов, а также вопросам мониторинга, отчетности и верификации результатов. В работе обосновывается необходимость комплексного подхода к климатическим проектам, интегрирующего технологические, экономические и управленческие аспекты, а также учитывающего специфику зрелых нефтедобывающих активов.

Ключевые слова: климатические проекты, низкоуглеродное развитие, нефтедобывающая отрасль, углеродное регулирование.

Актуальность развития нормативно-методической базы и концептуальных подходов к формированию климатических проектов в нефтедобывающей отрасли России определяется необходимостью адаптации к глобальным экологическим вызовам и требованиям низкоуглеродного развития. Современная климатическая повестка, заданная международными соглашениями, обязывает государства и корпорации пересматривать свои стратегии. В условиях возрастающего давления со стороны международного сообщества и внедрения механизмов углеродного регулирования для России, как крупного производителя и экспортера углеводородного сырья, становится критически важным формирование эффективной системы климатических проектов.

Развитие углеродного регулирования в Российской Федерации представляет собой сложный и многогранный процесс, обусловленный как внутренними, так и внешними факторами. Принятие Парижского соглашения в 2015 году послужило катализатором для активизации климатической повестки на национальном уровне. В.В. Романова отмечает, что правовое регулирование в сфере снижения выбросов парниковых газов и оборота углеродных единиц находится в стадии формирования, однако задачи климатической повестки являются общими для всего мирового сообщества, что требует продолжения работы по международно-правовой унификации. Отсутствие единых подходов к ключевым положениям и критериям может вызвать различия в толкованиях, что приводит к дисбалансу интересов участников международных отношений [1].

На федеральном уровне ключевым законодательным актом стал Федеральный закон от 2 июля 2021 года № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов», который вступил в силу 30 декабря 2021 года [2]. Данный закон закладывает основы для создания условий устойчивого и сбалансированного развития экономики Российской Федерации в части снижения уровня выбросов парниковых газов. Его положения касаются определения климатических проектов, верификации их результатов, обращения углеродных единиц и создания реестра углеродных единиц. Однако, как указывает Е.Г. Костикова, несмотря на формирование правовых основ, российский рынок углеродных единиц до настоящего времени не функционирует в полной мере, что объясняется низкой востребованностью углеродных единиц в отсутствие действующих ограничений выбросов углеродных газов масштаба страны [3].

Внедрение механизмов углеродного регулирования, таких как трансграничное углеродное регулирование Европейского Союза, оказывает значительное влияние на экспортно-ориентированные отрасли российской

экономики. Е.А. Малышев, Т.Е. Малышева подчеркивают, что до введения санкций СВМ стимулировал российские компании к декарбонизации, однако после переориентации экспорта на другие рынки его актуальность снизилась. Тем не менее, климатическая повестка сохраняет свое значение, поскольку многие страны, включая Китай и Индию, также ужесточают экологические требования, что обусловило необходимость сертификации углеродного следа, хотя и в меньшей степени [4].

Формирование внутренних экономических стимулов для компаний к приобретению углеродных единиц остается критически важным аспектом. Н.К. Куричев и соавторы отмечают, что на национальном уровне у компаний отсутствуют значимые экономические стимулы для приобретения углеродных единиц и реализации климатических проектов. Спрос на углеродные единицы станет стабильным только после создания механизма формирования цены на выбросы парниковых газов, например, через национальный углеродный рынок или углеродный налог. Отсутствие такого механизма приводит к тому, что внутренний рынок остается ограниченным экспериментом или пойдет по пути массовой генерации дешевых, но низкокачественных углеродных единиц [5].

В нефтедобывающей отрасли России углеродное регулирование и климатические проекты имеют специфические особенности. Е.А. Колесниченко указывает, что нефтедобывающая отрасль является одним из крупнейших источников выбросов парниковых газов, что делает ее приоритетной для внедрения низкоуглеродных технологий. Декарбонизация в этом секторе включает разработку проектов по повышению энергоэффективности, сокращению утечек метана и внедрению возобновляемых источников энергии. Инвестиции в технологии улавливания и хранения углерода также рассматриваются как перспективное направление, несмотря на высокие риски и капиталоемкость [6].

Практическая реализация климатических проектов в российской нефтедобывающей отрасли демонстрирует активное внедрение передовых подходов. Ведущие отечественные компании, такие как ПАО «Газпром нефть» и ПАО «Татнефть», активно интегрируют принципы низкоуглеродного развития в свои корпоративные стратегии, реализуя масштабные программы по повышению полезного использования попутного нефтяного газа (ПНГ), модернизации энергетического оборудования и снижению метановых выбросов. Практики включают запуск новых газоперерабатывающих мощностей, внедрение частотно-регулируемых приводов на насосном оборудовании, а также развитие систем дистанционного мониторинга утечек метана с использованием беспилотных летательных аппаратов и газоаналитических комплексов. Данные проекты не только способствуют значительному сокращению выбросов парниковых газов, но и обеспечивают экономический эффект за счет рационального использования ресурсов и повышения операционной эффективности, подтверждая жизнеспособность и адаптивность российской нефтедобывающей отрасли к новым экологическим и экономическим вызовам. Данные решения во многом простимулированы развитием нормативно-методической базы.

Следует отметить, эволюция нормативно-методической базы для формирования климатических проектов в нефтедобывающей отрасли России прошла несколько этапов, связанных с развитием законодательства, международных обязательств и стандартизацией. Начальный этап был тесно связан с опытом реализации проектов совместного осуществления (ПСО) в рамках Киотского протокола, когда российские компании активно участвовали в механизмах сокращения выбросов парниковых газов или увеличения их поглощения, регулируемых соответствующими постановлениями Правительства РФ. Данный период, по нашему мнению, сформировал основу для накопления практического опыта и понимания принципов функционирования углеродных рынков и проектов, хоть и на международном уровне.

Как было определено ранее, ключевым этапом в развитии национального регулирования стало принятие Федерального закона от 2 июля 2021 года № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов». Данный закон стал основой для формирования всей последующей нормативной пирамиды, включая Приказ Минэкономразвития России № 248 от 11 мая 2022 года [7], утвердивший детальные критерии и порядок отнесения проектов к климатическим, а также требования к отчетности. Стратегия социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ [8], дополнила правовое поле стратегическим планированием, задав долгосрочные ориентиры для всех отраслей, включая нефтедобычу.

Вместе с законодательными актами, активно развивается и стандартизация в сфере климатических проектов. Так, ГОСТ Р 72532–2026, регулирует проекты по переводу промышленных установок и электростанций с угля/нефтяного топлива на газообразное [9]. Важно отметить, что данный стандарт не только учитывают российскую специфику, но и во многом базируются на международных практиках и принципах, выработанных, в частности, в рамках Механизма чистого развития Киотского протокола.

Следует отметить, что специфика нефтедобывающей отрасли России в контексте климатических проектов заключается в нескольких ключевых аспектах. Во-первых, это высокая доля выбросов метана (CH_4) и углекислого газа (CO_2) от источников, связанных с добычей и подготовкой углеводородного сырья, включая факельное сжигание и неорганизованные утечки попутного нефтяного газа, а также энергопотребление. Во-вторых, значительная часть месторождений находится на стадии зрелой разработки, что влечет за собой повышенную энергоемкость процессов и необходимость поддержания пластового давления, требуя специфических технологических решений для снижения углеродного следа. В-третьих, отрасль характеризуется сложной инфраструктурой и географической протяженностью объектов, что усложняет мониторинг и управление выбросами. Наконец, экономическая значимость нефтедобычи для бюджета страны требует такого подхода к низкоуглеродному развитию, который будет сочетать экологические цели с поддержанием экономической устойчивости и конкурентоспособности предприятий,

стимулируя внедрение наилучших доступных технологий и инновационных решений, как это предусмотрено новейшими ПНСТ.

Обращаясь к специфике внешней среды, следует отметить, что в условиях усиления санкционного давления и геополитической трансформации, нормативно-методическая база формирования климатических проектов в российской нефтедобывающей отрасли демонстрирует двойственный вектор развития. С одной стороны, происходит активное укрепление национальной законодательной и стандартизационной базы, направленное на создание суверенной системы углеродного регулирования, независимой от внешних факторов. Однако, введение санкций и ограничение доступа к западным технологиям и финансированию обусловили специфическую проблематику в реализации климатических проектов. Сложности возникают в части импортозамещения высокотехнологичного оборудования для утилизации попутного нефтяного газа, систем мониторинга метановых выбросов (например, лазерных газоанализаторов, специализированных БПЛА), а также передовых решений в области энергоэффективности. Отсутствие прямого доступа к международным рынкам углеродных единиц и ограничение сотрудничества с зарубежными верификаторами также создают барьеры для международного признания российских климатических проектов и потенциальной монетизации углеродных сокращений на глобальном уровне, что стимулирует развитие отечественных технологий и компетенций, а также переориентацию на внутренний углеродный рынок и внутрикорпоративные программы декарбонизации, где экономический эффект достигается преимущественно за счет снижения операционных затрат и повышения производственной эффективности, а не продажи углеродных единиц.

В долгосрочной перспективе, несмотря на текущие вызовы, климатические проекты в нефтедобывающей отрасли России сохраняют свою актуальность и потенциал развития. Санкционное давление стимулирует активное импортозамещение и разработку собственных инновационных технологий в области утилизации ПНГ, энергоэффективности и мониторинга метана, что способствует укреплению технологического суверенитета и повышению внутренней конкурентоспособности. Развитие национального углеродного рынка и системы верификации, а также интеграция климатических целей в корпоративные стратегии устойчивого развития, обеспечивают внутренние стимулы для декарбонизации, независимо от внешних факторов. Таким образом, несмотря на возможные корректировки темпов и приоритетов, стратегический вектор на низкоуглеродное развитие остается неизменным, трансформируясь в сторону большей опоры на собственные научно-технические и экономические ресурсы, что в конечном итоге повысит устойчивость и адаптивность российской нефтедобывающей отрасли к глобальным климатическим вызовам.

Таким образом, анализ нормативно-методической базы и концептуальных подходов к формированию климатических проектов в нефтедобывающей отрасли России выявляет ряд ключевых проблем и перспектив. Необходимость дальнейшего совершенствования законодательства, создания эффективных экономических стимулов и гармонизации национальных стандартов с

международными требованиями является первостепенной задачей, что обеспечит не только выполнение международных обязательств, но и конкурентоспособность российской нефтедобывающей отрасли на мировом рынке, а также будет способствовать достижению целей низкоуглеродного развития.

Список литературы

1. Федеральный закон от 02.07.2021 N 296-ФЗ "Об ограничении выбросов парниковых газов" // "Российская газета", N 147 – 148, 07.07.2021.
2. Приказ Минэкономразвития России от 11.05.2022 N 248 (ред. от 08.07.2024) "Об утверждении критериев и порядка отнесения проектов, реализуемых юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями или физическими лицами, к климатическим проектам, формы и порядка представления отчета о реализации климатического проекта" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.05.2022 N 68642).
3. Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 N 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» // "Собрание законодательства РФ", 08.11.2021, N 45, ст. 7556.
4. Приказ Росстандарта от 06.02.2026 N 88-ст "Об утверждении национального стандарта Российской Федерации".
5. Колесниченко Е.А. Россия в системе международного климатического регулирования / Е.А. Колесниченко // Россия и мир: научный диалог. – 2025. – № 3(17). – С. 79-92.
6. Костикова Е.Г. Российский рынок углеродных единиц: правовые основы, проблемы становления и цифровизации / Е.Г. Костикова // Актуальные проблемы государства и права. – 2025. – Т. 9, № 2(34). – С. 196-207.
7. Малышев Е.А. Декарбонизация компаний индустриального сектора в условиях неопределённости / Е.А. Малышев, Т.Е. Малышева // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2023. – Т. 29, № 4. – С. 123-131.
8. Куричев Н.К. Природно-климатические проекты в России: ключевые проблемы и условия успеха / Н.К. Куричев, А.В. Птичников, Е.А. Шварц, А.Н. Кренке // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2023. – Т. 87, № 4. – С. 619-636.
9. Романова В.В. О приоритетных направлениях правовых исследований по энергетическому праву с учетом современной низкоуглеродной повестки / В.В. Романова // Правовой энергетический форум. – 2021. – № 4. – С. 13-20.

МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

СРАВНИТЕЛЬНОЕ АНАЛИЗ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ БИОНИЧЕСКИХ ПРОТЕЗОВ КИСТИ

А.И. Исяндавлетов, К.Х. Гильфанов

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань

***Аннотация.** В статье рассмотрены современные сенсорные системы, применяемые в бионических протезах кисти. Проведен сравнительный анализ электромиографических, тактильных, инерциальных и силовых сенсоров с точки зрения точности, стабильности сигнала, удобства ввода и эффективности управления протезом.*

Современные бионические протезы кисти представляют собой сложные мехатронные системы, эффективность которых напрямую зависит от качества сенсорного обеспечения. Наиболее распространённым способом управления остаётся поверхностная электромиография [1], основанная на регистрации биоэлектрической активности остаточных мышц. Основным преимуществом данного метода являются неинвазивность и простота реализации, однако стабильность сигнала снижается под воздействием внешних помех, изменений положения электродов и состояния кожи. Имплантируемые ЭМГ-системы обеспечивают более высокую точность и устойчивость сигнала, позволяя повысить качество управления силой захвата, однако требуют хирургического вмешательства, что ограничивает их широкое применение [2].

Важную роль в бионических протезах играют тактильные и силовые сенсоры, обеспечивающие получение информации о контакте с объектом, давлении и скольжении поверхности [3]. Использование таких датчиков позволяет адаптировать силу захвата и предотвращать выпадение предметов. Современные исследования показывают, что универсального решения для тактильных сенсоров в роботизированных кистях пока не существует, поскольку различные технологии обладают собственными преимуществами и ограничениями. Наиболее перспективными считаются гибкие сенсорные массивы и системы «электронной кожи», способные имитировать биологическую чувствительность человеческой кисти.

Для оценки пространственного положения и динамики движения применяются инерциальные датчик, включающие акселерометры и гироскопы. Они позволяют определять ориентацию кисти и параметры движения в реальном времени, однако подвержены накоплению ошибки и не обеспечивают информации о силе контакта с объектом. В связи с этим инерциальные системы чаще всего используются совместно с ЭМГ-датчиками и сенсорами давления. Результаты исследований указывают на то, что комбинирование нескольких сенсорных каналов значительно повышает точность распознавания движений и устойчивость управления протезом.

Благодаря проведенному сравнительному анализу можно сделать вывод, что поверхностная ЭМГ отличается доступностью и низкой стоимостью, но уступает имплантируемым системам по стабильности и точности сигнала. Тактильные и силовые сенсоры обеспечивают наиболее информативную обратную связь при взаимодействии с объектами, однако требуют сложной интеграции в конструкцию протеза [4]. Инерциальные датчики обладают высокой скоростью работы и компактностью, но эффективны только в сочетании с другими сенсорными каналами. Таким образом, наиболее эффективным решением является применение мультимодальной сенсорной системы, объединяющей ЭМГ, тактильные датчики и инерциальные сенсоры в едином контуре управления.

Перспективным направлением развития бионических протезов кисти является внедрение интеллектуальных алгоритмов обработки сигналов и систем обратной тактильной связи. Использование комбинированных сенсорных технологий позволяет повысить точность управления, естественность движений и адаптивность протеза к действиям пользователя, что особенно важно при моделировании современных бионических систем верхних конечностей.

Список литературы

1. Weiner, Pascal et al. "An Embedded, Multi-Modal Sensor System for Scalable Robotic and Prosthetic Hand Fingers." *Sensors (Basel, Switzerland)* vol. 20,1 101. 23 Dec. 2019, <https://doi.org/10.3390/s20010101>
2. Grushko, Stefan et al. "Control Methods for Transradial Prostheses Based on Remnant Muscle Activity and Its Relationship with Proprioceptive Feedback." *Sensors (Basel, Switzerland)* vol. 20,17 4883. 28 Aug. 2020, <https://doi.org/10.3390/s20174883>
3. Борисов И.И. Разработка обратной связи для протеза верхней конечности / И.И. Борисов, О.В. Борисова, С.В. Кривошеев [и др.] // XXVIII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2016): сборник трудов конференции, Москва, 07-09 декабря 2016 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 2017. – С. 213-215. – EDN XWIBFF.
4. Паланчук М.С. Система управления для перспективной системы протезов / М.С. Паланчук, А.С. Батурцев // Современные исследования: теория и практика: сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 29 апреля 2024 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2024. – С. 120-127. – EDN NPTECF.

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ СВЯЗИ В СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Т.А. Путилова

Челябинский институт путей сообщения – филиал
Уральского государственного университета путей сообщения,
г. Челябинск

***Аннотация.** В статье рассмотрены межпредметные связи, представляющие собой выражение интеграционных процессов в современных образовательных технологиях.*

Система межпредметных связей является одним из средств обучения в современных образовательных технологиях. Благодаря межпредметным связям улучшается усвоение материала, повышается качество знаний, формируется способность использовать, анализировать и сопоставлять информацию из различных областей знаний. Актуальность применения межпредметных связей в образовательных технологиях основывается на современном уровне развития науки, где явно выражена интеграция общественных, естественнонаучных и технических знаний [1-3]. В статье представлены межпредметные связи, являющиеся выражением интеграционных процессов в современных образовательных технологиях.

Объединение научных знаний формирует новые требования к специалистам. Возрастает роль знаний в сфере смежных наук и умения их комплексного использования во время решения научных и производственных задач. Межпредметные связи представляют собой интегральный подход к обучению. Фактические межпредметные связи выявляют сходство фактов разных учебных предметов и используют общие для объединения представлений об отдельных процессах и явлениях. Теоретические межпредметные связи подразумевают обобщение и качественное изменение изучаемых основных постулатов и законов. К основным функциям межпредметных связей в образовательных технологиях относят: методологическую, обучающую, развивающую, конструктивную. Методологическая функция формирует целостное представление о развитии природы через интеграцию материалов естественнонаучных дисциплин. Обучающая функция развивает связь между понятиями, которые рассматриваются в различных дисциплинах, благодаря чему имеющиеся знания углубляются и лучше усваиваются. Развивающая функция формирует системное мышление и творческий подход. Конструктивная функция позволяет совершенствовать содержание учебного материала, способов и форм организации процесса обучения посредством использования принципа межпредметности [1-3].

Рассмотрим использование межпредметных связей в решении практических задач. При изучении различных процессов и явлений возникает

необходимость определения скорости их протекания. Решение данных задач основывается на понятии производной, являющейся характеристикой скорости изменения функции и имеющей широкое применение в области технических задач. Примеры использования дифференциального исчисления при определении скорости различных процессов приведены ниже.

Пример 1. Определить теплоемкость вещества при температуре 90 К, если количество теплоты, получаемое при нагревании данного вещества от 0 до Т, определяется по формуле $Q = \alpha T + \beta T^2$, Дж.

Теплоемкость определяется как производную от количества теплоты:

$$C = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta T}, \text{ тогда } C = \alpha + 2\beta T \text{ (Дж/К)}.$$

При температуре $T = 90$ К теплоемкость равна $C = \alpha + 180\beta$, (Дж/К).

Пример 2. Уравнение движения точки задано уравнениями $x = \alpha \cos 2\pi \frac{t}{\beta}$, $y = \alpha \sin 2\pi \frac{t}{\beta}$. Необходимо определить скорость и ускорение точки в момент времени $t = 3$ с.

Определим проекции скорости как производные от уравнений движения:

$$v_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}, \quad v_y = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta t}.$$

Тогда $v_x = -\frac{2\pi\alpha}{\beta} \sin 2\pi \frac{t}{\beta}$, $v_y = \frac{2\pi\alpha}{\beta} \cos 2\pi \frac{t}{\beta}$ и скорость точки равна $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$.

Определим проекции ускорения как производные от уравнений скорости:

$$a_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t}, \quad a_y = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_y}{\Delta t}.$$

Тогда $a_x = -\frac{4\pi^2\alpha}{\beta^2} \cos 2\pi \frac{t}{\beta}$, $a_y = -\frac{4\pi^2\alpha}{\beta^2} \sin 2\pi \frac{t}{\beta}$ и ускорение точки рассчитывается по формуле $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$.

В заданный момент времени скорость точки и ускорение соответственно равны

$$v = \sqrt{\left(-\frac{2\pi\alpha}{\beta} \sin 2\pi \frac{3}{\beta}\right)^2 + \left(\frac{2\pi\alpha}{\beta} \cos 2\pi \frac{3}{\beta}\right)^2},$$

$$a = \sqrt{\left(-\frac{4\pi^2\alpha}{\beta^2} \cos 2\pi \frac{3}{\beta}\right)^2 + \left(-\frac{4\pi^2\alpha}{\beta^2} \sin 2\pi \frac{3}{\beta}\right)^2}$$

Таким образом, в рассмотренных примерах показано применение межпредметных связей на примере вычисления производной при решении различных технических задач.

Список литературы

1. Путилова Т.А. Цифровые технологии в образовании / Т.А. Путилова // *Приоритетные направления развития науки и технологий / XXXIII Междунар. научн. – практ. конф., ред. В.М. Панарина. – Тула: Инновационные технологии, 2023. – С. 112-114.*
2. Атанов И.В. Межпредметные связи в учебном процессе высшего учебного заведения / Атанов И.В., Капустин И.В., Никитенко Г.В. [и др.] // *Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 25-30.*
3. Диевский В.А. Теоретическая механика: сборник заданий / В.А. Диевский, И.А. Малышева. – СПб: Лань, 2020. – 216 с.

МАГНИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Е.И. Заживихина, С.А. Маркова, Е.Е. Кузнецова
Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,
г. Чебоксары

Аннотация. В данной статье рассматриваются синтез ЭДТА-Mg, влияние в лабораторных условиях на рост и развитие лука репчатого (*Allium cepa* L) в сравнении с водными растворами $MgSO_4$ и абиетата натрия $C_{19}H_{29}COONa$.

Магний – один из самых распространённых элементов земной коры. Большие количества магния находятся в морской воде в виде раствора солей. Магний является элементом главной подгруппы второй группы периодической системы Д.И.Менделеева. В эту подгруппу также входят бериллий, барий, стронций и радий. Кальций, барий, стронций и радий называют щелочно-земельными металлами. Магний – один из важных биогенных элементов, в значительных количествах содержится в тканях животных и растений, является кофактором многих ферментативных реакций. Физиологическая роль магния в растительном организме велика и многообразна. Он входит в состав органелл (хлоропластов, рибосом) мембран, клеточных стенок, принимает непосредственное участие в дыхании, синтезе белков и многих других физиологических процессах, способствует стабилизации коллоидных систем, повышает тургор клетки. Обеспеченность магнием оказывает положительное влияние на рост корней и вегетативной массы растений. Растениеводство всегда было и будет не только основой сельского хозяйства, но и благополучия населения. Условия минерального питания влияют не только на урожай, но и на содержание и соотношение питательных элементов в растениях. Все возрастающую роль в агротехнике играют регуляторы роста растений (РРР). Они способствуют не только росту урожайности, но и обеспечивают повышение качества сельхозпродукции. Лук репчатый – одно из самых требовательных овощных растений к питательным веществам, широко используется в научных исследованиях в качестве экспериментального объекта [1]. Потребление растениями элементов минерального питания является сложным

физиологическим процессом, который зависит от биологических особенностей растения и условий окружающей среды, в котором развивается растительный организм. Хелат магния с ЭДТА – эта форма магния является наиболее распространенной и широко используется в качестве микроудобрения для различных культур: зерновые, овощные. Обеспечение растений магнием в хелатной форме способствует улучшению роста, развития урожайности. Препараты серии «бальзам» представляют повышенный интерес в качестве потенциальных биологически активных веществ. Эксперимент проводили на растениях *Allium* сера L в закрытых лабораторных условиях для нивелирования воздействия разных факторов окружающей среды на рост и развитие растений (температура, влажность воздуха, освещение, почвенные условия). Общая продолжительность составила 21 день, календарные сроки проведения с 08 апреля 2026 по 28 апреля 2026 года. В емкости объемом 0,2 л были высажены образцы – лука репчатого по 7 штук в каждой, предварительно выдержанные в слабом розовом растворе KMnO_4 (в течение 2-х часов). В качестве почвы использовали грунт ТУ 9819-002-68074518-2009 «Фермер» для выращивания овощных культур. Для полива (понедельник – среда – пятница, по 20 мл) использовали концентрации:

опыт I (контроль) - вода дистиллированная

опыт II - 0,01% водный раствор MgSO_4

опыт III - 0,01% водный раствор хелата Mg- ЭДТА

опыт IV- 0,01% водный раствор абиегата натрия $\text{C}_{19}\text{H}_{29}\text{COONa}$

Сульфат магния (магний сернокислый, MgSO_4) – высокоэффективное водорастворимое минеральное удобрение, содержащее около 17 % магния и 13 % серы, укрепляет иммунитет растений, стимулирует образование хлорофилла, ускоряет рост и улучшает вкус плодов у томатов, огурцов и картофеля.

Хелат Mg-ЭДТА – используется в сельском хозяйстве в качестве микроэлементного удобрения. Может применяться в качестве добавки к внекорневым удобрениям.

Водный раствор абиегата натрия $\text{C}_{19}\text{H}_{29}\text{COONa}$ («Бальзам-ЭКБ») является продуктом переработки живицы хвойных пород деревьев и представляет собой 50%-ную эмульсию природных терпеноидов в воде с добавлением эмульгатора, состоит из биологически активного вещества марки «Б» по ТУ 13-4000177-181-83, представляющего концентрат сескви- и дитерпеновых углеводов, спиртов и смоляных кислот, девятиводного метасиликата натрия, воды. Для каждого выращенного растения проводили морфометрические измерения линейных размеров листьев каждого растения и их массы. Установлено, что зеленая масса (г) лука репчатого в опытах: I составила 14,30; II-21,15; III-22,80; IV-25,90 соответственно. При концентрации 0,01% раствора абиегата натрия («Бальзам-ЭКБ») высота лука была больше с контрольными образцами, в образцах зелени лука, обработанной абиегатом натрия, содержание витаминов А и В₂ повысилось по сравнению с контролем. Для выявления более точной и детальной картины механизмов, влияющих на биохимические процессы,

проходящие в растительном организме под влиянием солей магния и натриевой солью абиестиновой кислоты, необходимы дальнейшие исследования в образовательной технологии.

Список литературы

1. Гордиенко И.Н. Продуктивность лука в зависимости от системы удобрения / И.Н. Гордиенко, Р.П. Гладких // Вестник Сумского национального аграрного университета. Агрономия и биология. – 2017. – №7. – С.97-101.
2. Заживихина Е.И. Основные лесохимические продукты, используемые для МЭП / Е.И. Заживихина, С.А. Маркова // Наука в XXI веке: тезисы докладов республиканской научно-практической конференции по химии. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2002. – С. 84-85.
3. Заживихина Е.И. Синтез и исследование биологически активных препаратов (макро-, микро-, ультраэлементов) на основе терпеноидов / Е.И. Заживихина, С.А. Маркова, Д.А. Заживихин // Научно-практическая Республиканская конференция «Наука в развитии села». – Чебоксары: Изд-во ЧувГСХА, 2009. – С. 77-80.
4. Заживихина Е.И. Гидрометасиликат натрия / Е.И. Заживихина, С.А. Маркова, С.Н. Смирнова // Современные проблемы экологии: доклады XVII Междунар. науч.-технич. конференции под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2017. – С. 109-110.
5. Заживихина Е.И. Комплексное применение препарата «Бальзам-ЭКБ» с микроэлементным препаратом «Сувар» / Е.И. Заживихина, С.А. Маркова, Д.А. Заживихин // Глобальные проблемы экологизации в Европейском сообществе: сборник трудов Международной конференции, посвященной 10-летию образования Международного информационно-экологического парламента. – Казань, 28-29 сентября 2006. – С. 200-201.
6. Заживихина Е.И. Влияние хелата Mn- EDTA на рост и развитие лука репчатого / Е.И. Заживихина, С.А. Маркова, А.В. Блинова, Э.Р. Бакирова // Теоретические и прикладные аспекты естественнонаучного образования: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ЧГПУ им. И.Я. Яковлева [Электронный ресурс] / отв. ред. О.С. Индейкина. – Чебоксары: Чуваш. гос. пед. ун-т, 2025. – С. 98-101.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

АДАПТИВНЫЙ РЕГУЛЯТОР КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ПО ОТКЛОНЕНИЯМ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Б.А. Максютлов, В.Г. Макаров

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

***Аннотация.** Рассматривается цифровая система автоматической компенсации реактивной мощности для повышения управляемости электроэнергетических систем и улучшения качества электроэнергии. Предложена модель адаптивного регулятора коэффициента мощности, реализованная в LTspice без использования АЦП и ЦАП. Регулирование осуществляется логическими устройствами на основе двоичного кода. Показано, что система обеспечивает высокий коэффициент мощности электрической системы, обладает высоким быстродействием и надёжностью. По результатам моделирования угол сдвига фаз уменьшается с 67 до 5 градусов при скачкообразном изменении нагрузки. Доказана эффективность и целесообразность практической реализации предложенной схемы.*

Актуальность работы обусловлена значительными потерями электроэнергии в протяженных линиях и при работе промышленного оборудования с низким коэффициентом мощности. Одним из наиболее эффективных способов снижения потерь является локальная компенсация реактивной мощности непосредственно у электроприёмника.

Целью работы является создание модели автоматической компенсации реактивной мощности в электроэнергетических системах с помощью цифровой логики, позволяющей поддерживать коэффициент мощности $\cos \varphi \geq 0,9$.

Для достижения цели в работе выбран локальный метод компенсации, так как он обеспечивает наибольшее снижение потерь и прямое улучшение качества электроэнергии у конечного потребителя, что идеально сочетается с автоматической цифровой системой регулирования. Для моделирования в LTspice приняты допущения: рассмотрение одной фазы; два режима нагрузки (максимальная мощность и 20 % от номинальной); мгновенный переход между режимами.

Рассматриваемая модель содержит блок измерения электрических величин (1), Блок определения знака и величины угла сдвига фаз φ (2), определитель моментов времени изменения знака на датчиках напряжения и тока (3), блок управления группой конденсаторных батарей (4), блок безопасной коммутации (5), генератор импульсов управления группой конденсаторов (6), группа источников опорного напряжения (7).

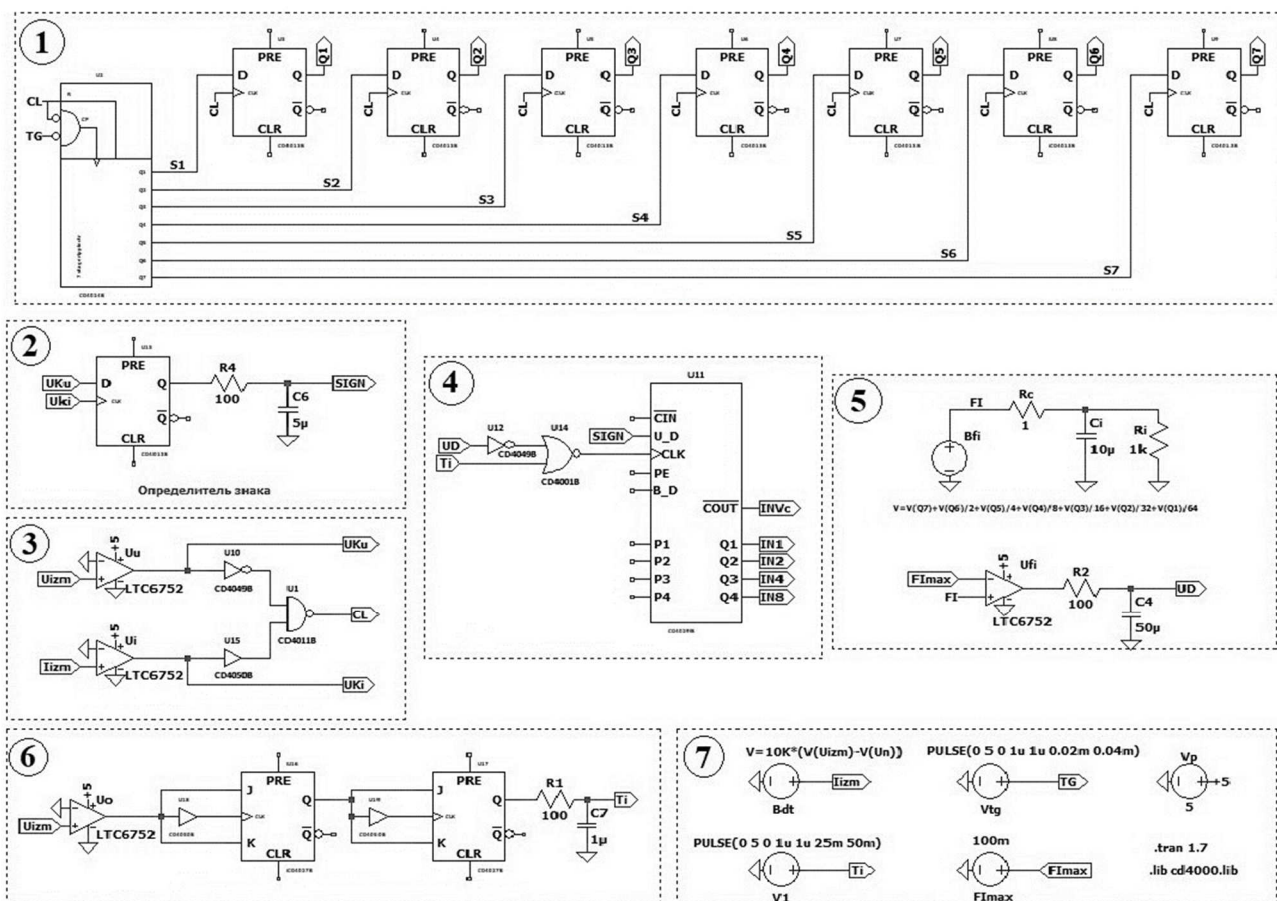


Рис. Схема блоков модели адаптивного регулятора коэффициента мощности в программном пакете *LTspice*

Принцип работы системы:

1. Измерение угла сдвига ф:

Датчики напряжения и тока фиксируют моменты перехода сигналов через ноль. С помощью компараторов и триггеров определяется знак и величина угла φ между напряжением и током (без АЦП и ЦАП).

2. Цифровая обработка:

Значение угла φ преобразуется в двоичный код с помощью счётчиков и логических элементов.

3. Принятие решения:

Система сравнивает измеренный угол φ с заданной зоной нечувствительности.

Если нагрузка индуктивная и φ слишком большой $\rightarrow$ включаются дополнительные конденсаторы (увеличивается суммарная ёмкость).

Если нагрузка ёмкостная и φ слишком большой $\rightarrow$ отключаются конденсаторы (уменьшается ёмкость).

Если φ в норме ($\cos \varphi \geq 0,9$) $\rightarrow$ переключение не происходит.

4. Управление конденсаторами:

Включение/отключение ступеней конденсаторной батареи осуществляется по двоичному коду (1:16 или больше) через логические устройства и ключи.

Коммутация происходит в момент перехода напряжения через ноль – для снижения бросков тока.

Главное преимущество: вся логика построена только на цифровых элементах (триггеры, счётчики, компараторы), что обеспечивает высокую помехозащищённость, простоту, надёжность и энергоэффективность.

По результатам моделирования система выходит в устойчивое состояние за 0,6 с. При пуске с индуктивной нагрузкой угол φ уменьшается с 21 до 5 градусов, при скачкообразном снижении активной мощности ($t = 0,85$ с) – с 67 до 5 градусов. Коэффициент мощности поддерживается на уровне $\cos \varphi \geq 0,9$.

Сравнение режимов работы приведено в таблице.

Параметры режимов до и после компенсации

Параметр	Без компенсации	С компенсацией
Угол φ при пуске, градус	21	5
Угол φ при снижении нагрузки, градус	67	5
Время выхода на режим, с	—	0,6
Коэффициент мощности	$< 0,9$	$\geq 0,9$
Диапазон регулирования	—	1:16

Таким образом, разработанная цифровая система автоматической компенсации реактивной мощности отличается простотой, надёжностью, энергоэффективностью и отсутствием аналого-цифрового преобразования. Полученные результаты подтверждают её высокую эффективность и целесообразность практического применения в электроэнергетических системах промышленных предприятий.

Список литературы

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов / А.С. Анучин. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. – С. 323.
2. Железко Ю.С. Потери электроэнергии / Ю.С. Железко. – М.: НЦ ЭНАС, 2009. – С. 459.
3. Карпов Ф.Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях / Ф.Ф. Карпов. – М.: Энергия, 1975. – С. 182–183.
4. Герасимов В.Г. Электротехнический справочник / В.Г. Герасимов. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – Т. 4. – С. 696.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГНОЗИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ (MODEL PREDICTIVE CONTROL) В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Н.И. Чванов

Ульяновский государственный технический университет,
г. Ульяновск

Аннотация. В статье исследуется применение модели прогнозирующего управления (Model Predictive Control, MPC) для энергоэффективного управления электроприводами насосных станций водоснабжения. Проведено сравнение MPC с традиционными ПИД-регуляторами. Показано, что MPC позволяет снижать энергопотребление, сглаживать пиковые нагрузки и оптимально использовать аккумулирующие резервуары за счёт прогнозирования водопотребления и оптимизации на горизонте будущего.

Ключевые слова: Model Predictive Control, MPC, энергоэффективность, насосные станции, водоснабжение, частотное регулирование.

Водохозяйственные предприятия сталкиваются с новыми проблемами в адаптации к энергетическому переходу, характеризующемуся ростом возобновляемой энергетики, гибкими нагрузками и более динамичными энергетическими рынками. Этот переход также открывает возможности для более устойчивого управления эксплуатацией систем водоснабжения. В последнее время модель прогнозирующего управления (MPC) вызывает интерес в управлении системами водоснабжения. Это современный метод управления, основанный на динамических моделях процесса, полученных путем идентификации системы в процессе эксплуатации. Основное преимущество MPC заключается в принципе управления, анализирующим исторические данные, что в свою очередь дает возможность предсказать поведение системы в будущем. ПИД-регуляторы не обладают подобной способностью к прогнозированию.

Внедрение данной системы возможно как на среднем уровне автоматизации (специализированные PLC со встроенными средствами оптимизации), так и на высоком (SCADA). Однако, при внедрении этой технологии, стоит учитывать скорость реакции системы и прав доступа, предоставленных системам диспетчеризации.

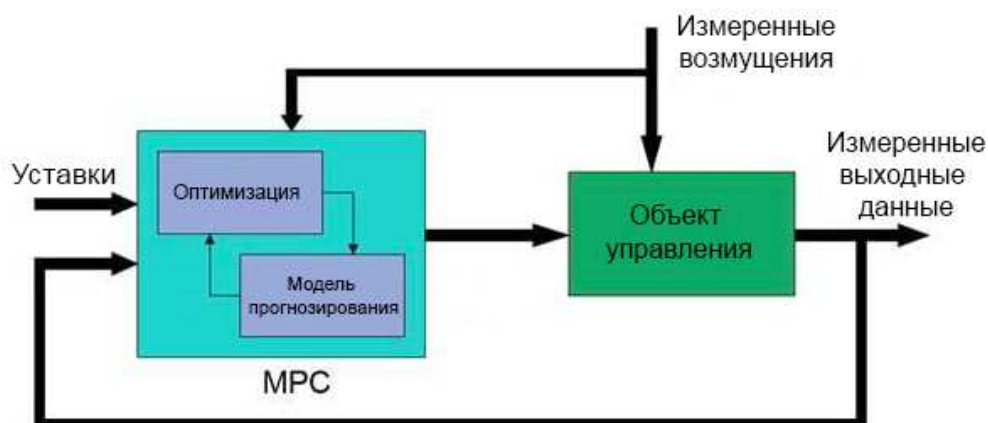


Рис. 1. Основной цикл управления MPC

Схема представляет собой замкнутый контур с обратной связью. С каждым циклом ПЛК модель получает текущие измерения выходов объекта, измеренные возмущения и заданные значения (уставки). Используя модель предсказания, контроллер прогнозирует поведение системы на горизонте предсказания (от нескольких секунд до десятков минут). Оптимизатор решает задачу минимизации целевой функции, учитывая отклонение прогнозируемых выходов от заданных значений, затраты на управление (энергопотребление) и ограничения (частота, давление, ток и т.д.). На объект подается только первое управляющее воздействие из оптимальной последовательности, чтобы избежать ошибок в работе ПО (исключений, блокировок, останова алгоритма). На следующем такте вся процедура повторяется: измеряются новые выходы, обновляется прогноз и оптимизация.

Целевая функция MPC:

$$J = \sum_{i=1}^{N_p} (\|y(k+i) - r(k+i)\|_Q^2 + \|\Delta u(k+i)\|_R^2) + p$$

где y – прогнозируемые выходы (давление, расход, мощность);

r – заданные траектории;

u – управляющее воздействие (частота преобразователя);

Q, R – весовые матрицы.

По данным, предоставляемым компаниями Grundfos, Danfoss, Siemens, переход от дроссельного регулирования к частотному с ПИД-регулятором давления дает 20-40 % экономии электроэнергии на насосных станциях водоснабжения (в зависимости от графика потребления и характеристик сети). MPC позволяет работать дольше в зоне максимального КПД насосного агрегата, заранее подстраиваясь под пики/спады водоразбора. Модель, предсказания заранее, увеличивает производительность насосов перед пиковыми значениями расхода (утром и вечером), вместо резкого повышения мощности в момент максимального водоразбора.

Также одним из способов снижения пиковых нагрузок является оптимальное использование аккумулирующих резервуаров, которое эффективно реализуется в рамках прогнозирующего управления. Алгоритм MPC, обладая прогнозом суточного графика водопотребления на горизонте от 30 до 120 минут, заранее рассчитывает оптимальную траекторию заполнения резервуаров в периоды низкого спроса и минимальной стоимости электроэнергии. Перед наступлением пиковой нагрузки контроллер увеличивает производительность насосных агрегатов заблаговременно и плавно, создавая необходимый запас воды в аккумулирующих ёмкостях. В момент максимального водоразбора MPC снижает частоту вращения двигателей или переводит часть насосов в экономичный режим, обеспечивая потребителей преимущественно за счёт накопленного объёма. После прохождения пика система возвращается к режиму дозакачки резервуаров в наиболее энергоэффективном диапазоне работы насосов. Такой подход позволяет существенно сгладить график электропотребления, уменьшить максимальную (пиковую) электрическую мощность, снизить плату за договорную мощность, а также повысить общий КПД системы за счёт работы оборудования в зоне оптимальных характеристик.

Таким образом, модель прогнозирующего управления (MPC) представляет собой перспективный и эффективный метод автоматизации насосных станций водоснабжения и водоподготовки, значительно превосходящий по возможностям традиционные ПИД-регуляторы. Благодаря способности прогнозировать поведение системы, оптимально использовать аккумулирующие резервуары и учитывать динамику водопотребления, MPC обеспечивает снижение энергопотребления, сглаживание пиковых нагрузок, работу оборудования в зоне максимального КПД и повышение общей устойчивости системы. Внедрение данной технологии на уровне PLC и SCADA позволяет водохозяйственным предприятиям успешно адаптироваться к условиям энергетического перехода, снизить эксплуатационные затраты и повысить надёжность водоснабжения.

Список литературы

1. Жуков А.А. Энергоэффективное управление насосными станциями второго подъёма с использованием частотных преобразователей / А.А. Жуков, С.В. Иванов // *Водоснабжение и санитарная техника*. – 2023. – № 8. – С. 34-42.
2. Siemens AG. *Model Predictive Control in Water & Wastewater Applications. White Paper*. – 2023.
3. Бухтояров В.В. Применение прогнозирующего управления в системах водоснабжения / В.В. Бухтояров, А.С. Герасимов // *Автоматизация в промышленности*. – 2024. – № 5. – С. 12-19.

ТЕХНОЛОГИИ SMART GRID В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ: V2G И УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ ДЛЯ ПИТАНИЯ АВАРИЙНОЙ НАГРУЗКИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Д.Е. Зиганшина, А.И. Федотов

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань

Аннотация. В статье предложены технические решения концепции интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью (Smart Grid) как платформы для питания аварийной нагрузки общественных объектов.

Интеллектуальная электроэнергетическая энергосистема с активно-адаптивной сетью (или Smart Grid) является системой нового поколения, в которой все субъекты электроэнергетического рынка принимают активное участие в процессах передачи и распределения электроэнергии [1].

Большинство установок распределенной генерации, накопители электроэнергии и зарядные станции для электромобилей подключаются к электрической сети переменного тока через силовые преобразователи [2]. Следствием данной тенденции выступает прогнозируемое насыщение электрических сетей устройствами преобразовательной техники в ближайшей перспективе.

Интеллектуальные энергосети (Smart Grid) играют ключевую роль в интеграции электромобилей в энергетическую систему. Одной из наиболее перспективных технологий является Vehicle-to-Grid (V2G), позволяющая электромобилям не только потреблять, но и возвращать электроэнергию в сеть. Данная технология буквально превращает аккумуляторы ЭМ в распределенные накопители энергии, способные балансировать нагрузку, компенсировать пиковое потребление и поддерживать стабильность сети.

Технология V2G обеспечивает ряд принципиальных преимуществ. Во-первых, это балансирование спроса и предложения: электромобили аккумулируют энергию в периоды минимальной нагрузки (преимущественно в ночные часы) и осуществляют её выдачу в сеть в моменты пикового потребления, тем самым сокращая потребность в эксплуатации резервных генерирующих мощностей. Во-вторых, управление электрической нагрузкой представляет собой второй фундаментальный аспект функционирования Smart Grid. Применение технологий сглаживания пиковых значений способствует ограничению нагрузочного воздействия на сеть посредством временного регулирования интенсивности зарядных процессов либо утилизации энергии, запасённой в аккумуляторах электромобилей.

Электромобили – как нововведение «Smart Grid» – значительно увеличат нагрузку на сеть. Умные зарядные устройства позволят электромобилю эффективно заряжаться от сети, рассчитывая процесс зарядки таким образом, чтобы он совпал с низкими ценами, периодом низкой загруженности сети [3].

В ходе написания работы были рассмотрены объекты социальной инфраструктуры, посчитана расчетная, фактическая и аварийная мощности каждого из объектов, представленные в таблице. По анализу выполненных расчетов предложены технические решения по использованию электромобилей для питания аварийной нагрузки общественных объектов. При возникновении аварийной ситуации станция электромобилей будет работать в полностью изолированном (островном) режиме, обеспечивая электроснабжение ответственных потребителей объекта без связи с внешней сетью.

Нагрузки СОШ и ДОУ

	Р _{расч}	Р _{факт}	Р _{ав}
Объект ДОУ №1	72,8 кВт	22,65	50,15
Объект ДОУ №2	87,36 кВт	14,53	72,83
Объект ДОУ №3	118,56 кВт	9,26	109,3
Объект СОШ №4	154 кВт	34,13	119,87
Объект СОШ №5	262 кВт	22,84	239,16
Объект СОШ №6	100,2 кВт	26,31	73,89

Для интеграции данной системы важно соблюсти несколько критериев:

- выбор емкости батареи для перекрытия аварийной нагрузки;
- необходимость изолированного режима работы системы при возникновении аварийной ситуации;
- сравнение затрат на установку.

Таким образом, техническое решение по питанию аварийной нагрузки общественных зданий от аккумуляторов станций электромобилей решает сразу две задачи: сглаживание пиков потребления и повышение надежности электроснабжения критически важных объектов.

Список литературы

1. Волкова И.О. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью / И.О. Волкова, В.В. Бушуев, Ф.В. Веселов. – М.: ОАО «Федеральная сетевая компания Единой Электроэнергетической системы», 2012. – 238 с.

2. Воронин В.А. Проблемы качества электроэнергии в интеллектуальных энергосистемах / В.А. Воронин // Сборник конференций: Сборник материалов международных научно-практических конференций, Москва, 30 апреля 2018 года / Под редакцией А.А. Коротких. – Москва: Индивидуальный предприниматель Коротких Алиса Анатольевна, 2018. – С. 481-485. – EDN XVNZTV.

3. Дайчман Р.А. Современные технологии, реализуемые с помощью использования "Smart Grid" / Р.А. Дайчман, К.А. Грабовецкая, Д.А. Дайчман // Исследования и разработки в перспективных научных областях: Сборник материалов I Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 2017. – С. 38-43. – EDN ZSKJIT.

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

К.М. Загидуллин

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

Аннотация. В статье рассматривается актуальная задача снижения удельного расхода топлива автономных дизель-генераторных установок (ДГУ) в малой энергетике. Авторами предложен специализированный контроллерный способ управления и алгоритм диспетчеризации на базе цифровой платформы Datakom, минимизирующий время работы ДГУ в неэффективных режимах недогрузки. Представлена математическая модель расхода топлива и функциональная схема системы автоматизации на основе контроллера Datakom D-500 и облачной SCADA-системы Rainbow Scada. Результаты моделирования подтверждают снижение расхода горюче-смазочных материалов до 12-15 %. [1,2]

Ключевые слова: дизель-генераторная установка, энергосберегающие технологии, контроллеры Datakom, диспетчеризация, Rainbow Scada, оптимизация нагрузки, параллельная работа.

1. Введение

В условиях удаленных территорий и критически важных объектов инфраструктуры автономные дизель-генераторные установки (ДГУ) остаются основным источником электрической энергии. Однако их эксплуатация

сопряжена с высокими затратами на дизельное топливо и логистику его доставки.

Основная проблема традиционных систем автоматизации ДГУ заключается в отсутствии интеллектуальной диспетчеризации при изменяемом графике нагрузки. Работа ДГУ на холостом ходу или при нагрузке ниже 30 % от номинальной мощности приводит к резкому росту удельного расхода топлива, закоксовыванию поршневой группы и преждевременному износу оборудования. [1]

Целью данного исследования является разработка контроллерного способа управления и диспетчеризации ДГУ на базе архитектуры Datakom, обеспечивающего удержание рабочей точки генератора в зоне максимального коэффициента полезного действия (КПД) для реализации энергосберегающего эффекта.

2. Математическое моделирование расхода топлива ДГУ

Для разработки алгоритма управления необходимо формализовать зависимость часового расхода топлива от текущей электрической нагрузки. На основе аппроксимации экспериментальных характеристик ДГУ малой и средней мощности была принята квадратичная математическая модель расхода топлива:

$$G(P(t)) = a \cdot P^2(t) + b \cdot P(t) + G_0$$

Где:

- $G(P(t))$ – мгновенный часовой расход топлива дизель-генератором, (кг/ч);
- $(P(t))$ – текущая электрическая мощность нагрузки, кВт;
- G_0 – расход топлива ДГУ на режиме холостого хода ($P = 0$), (кг/ч);
- (a, b) – эмпирические коэффициенты, определяемые конструктивными особенностями конкретного двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

Удельный расход топлива ($g(t)$) на один выработанный киловатт-час определяется как:

$$g(t) = (G(P(t))) / P(t) = a \cdot P(t) + b + G_0 / P(t)$$

Анализ функции ($g(t)$) показывает, что минимум удельного расхода достигается в диапазоне нагрузок ($P(t)$) $[0.7 \cdot P_n, 0.85 \cdot P_n]$, где (P_n) – номинальная мощность ДГУ. Задача контроллера – минимизировать мгновенный расход топлива дизель-генератором.

3. Функциональная структура контроллерного управления Datakom

Для реализации предложенного критерия разработана структура распределенной системы автоматизации и диспетчеризации. Центральным элементом управления нижнего уровня выступает специализированный контроллер генераторных установок **Datakom D-500**. Он сопряжен с блоком управления двигателем по шине Ethernet и осуществляет сбор параметров генерации. Верхний уровень мониторинга реализован через облачный веб-сервис **Rainbow Scada**. [1, 2, 3]

Контроллер Datakom непрерывно считывает данные о текущем потреблении сети. Если в многоагрегатных электростанциях общая нагрузка падает ниже критического порога, встроенная функция балансировки

автоматически инициирует остановку лишнего генератора и перераспределяет мощность на оставшиеся в работе ДГУ, выводя их в зону максимального КПД. Связь по встроенному протоколу Modbus Ethernet передает данные в систему Rainbow Scada для предиктивного контроля за расходом ресурсов. [1, 2, 3]

4. Моделирование

Для оценки эффективности предложенного способа было проведено цифровое моделирование на ПО Matlab суточного графика нагрузки автономного поселкового объекта. Сравнительный анализ работы ДГУ со стандартным блоком автоматического ввода резерва (АВР) без функций балансировки нагрузки и контроллера Datakom с активированным алгоритмом диспетчеризации показал следующие результаты:

Параметр эффективности	Традиционное управление (АВР)	Предложенный контроллерный Datakom способ
Время работы в неэффективной зоне (<30 %)	4,2 часа / сутки	0,3 часа / сутки
Средний удельный расход топлива	310г/(кВт·ч)	271г/(кВт·ч)
Суммарная экономия топлива за сутки	0% (база)	12,6 %

Сокращение времени работы на холостом ходу также позволило снизить нагарообразование в цилиндрах, что увеличивает межсервисный интервал ДГУ.

5. Заключение

Внедрение специализированного контроллерного способа управления и диспетчеризации на базе оборудования Datakom позволяет рассматривать автоматизацию не просто как инструмент надежности, а как полноценную энергосберегающую технологию. Оптимизация режимов работы контроллеров обеспечивает прямую экономию топлива до (12,6 %), снижает эксплуатационные расходы за счет выравнивания моточасов и уменьшает экологическую нагрузку на окружающую среду.

Список литературы

1. Воронов И.В. Автоматизация и управление энергоэффективностью автономных энергокомплексов / И.В. Воронов, А.В. Ляхомский // Промышленная энергетика. – 2022. – № 4. – С. 12-18.
2. Суворов И.А. Интеллектуальные контроллеры в системах распределенной генерации / И.А. Суворов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2024. – № 2. – С. 45–51.
3. Техническая документация Datakom. Серия D-500. [Электронный ресурс]. – URL: datakom.com.tr.

ВЕКТОР РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

И.В. Филимонов, Д.А. Бахтин
ФГБОУ ВО Нижегородский ГАТУ им. Л.Я. Флорентьева,
г. Нижний Новгород

***Аннотация.** В данной работе проанализированы основные направления автоматизации биогазовых установок: мониторинг параметров среды, автоматическое дозирование субстрата, управление температурным режимом, контроль газообразования и состава биогаза, а также использование цифровых моделей и элементов интеллектуального управления. Показано, что комплексная автоматизация является важным условием промышленной эффективности биогазовых комплексов и их интеграции в современные энергетические системы.*

Рост потребления энергии, увеличение объемов органических отходов и необходимость сокращения выбросов парниковых газов усиливают интерес к технологиям получения биогаза. Биогазовые установки предназначены для переработки органического сырья в анаэробных условиях с образованием газовой смеси, основными компонентами которой являются метан и диоксид углерода. Полученный биогаз может использоваться для производства тепловой и электрической энергии, в том числе в составе производственных биоэнергетических комплексов [3]

Несмотря на экологические и энергетические преимущества, эффективность биогазовой установки во многом зависит от стабильности биохимических процессов. Анаэробное сбраживание включает несколько стадий: гидролиз, ацидогенез, ацетогенез и метаногенез. Каждая из них протекает под действием определенных групп микроорганизмов, чувствительных к изменениям внешних условий. Нарушение баланса между стадиями может привести к накоплению летучих жирных кислот, снижению pH, уменьшению выхода метана и даже остановке процесса.

В традиционных установках контроль часто осуществляется вручную или с минимальным набором измерительных приборов. Такой подход затрудняет своевременное выявление отклонений и повышает риск технологических сбоев. Поэтому автоматизация становится одним из ключевых направлений развития биогазовых технологий.

Наиболее важными технологическими параметрами биогазовой установки являются [1,2]:

- температура – определяет скорость биохимических реакций;
- pH – характеризует кислотно-щелочной баланс;
- содержание сухого вещества – влияет на параметры перемешивания;
- органическая нагрузка – определяет количество поступающего субстрата;
- объем и состав биогаза – характеризует эффективность метаногенеза;
- давление газа – важно для безопасности и работы газовой системы.

Температурный режим является одним из наиболее значимых факторов работы биогазовой установки. На практике чаще всего используются

мезофильный режим при температуре около 35-38°C и термофильный режим при 50-55°C.

Отклонение температуры даже на несколько градусов может снизить активность метаногенных микроорганизмов. Автоматизированная система управления температурой включает: датчики температуры в разных зонах реактора; теплообменники или нагревательные контуры; насосы циркуляции теплоносителя; контроллер, регулирующий подачу тепла.

Использование автоматического регулирования позволяет избежать перегрева или охлаждения субстрата, а также снизить расход энергии на подогрев.

Показатель pH является индикатором биохимического равновесия процесса. Оптимальный диапазон для метаногенеза обычно находится в пределах 6,8-7,5. При накоплении летучих жирных кислот pH снижается, что может привести к подавлению метаногенных бактерий.

Автоматизация контроля pH предполагает: установку промышленных pH-электродов; регистрацию динамики изменения показателя; подачу щелочных реагентов при критическом снижении pH; регулирование загрузки субстрата.

Нерегулярная подача органического сырья является одной из причин нестабильной работы реактора. Резкое увеличение органической нагрузки может вызвать накопление кислот и снижение выхода метана.

Автоматизированная система подачи субстрата включает: датчики уровня в приемных емкостях; насосы с частотным регулированием; расходомеры; весовые дозаторы; программируемый логический контроллер.

Оптимальная стратегия заключается в равномерной или многоступенчатой подаче сырья в течение суток. Это обеспечивает более стабильную микробиологическую активность и снижает вероятность перегрузки реактора.

Перемешивание обеспечивает равномерное распределение температуры, питательных веществ и микроорганизмов. Однако чрезмерное перемешивание увеличивает энергопотребление и может нарушать структуру микробных сообществ. Автоматизированное управление мешалками позволяет: задавать циклический режим работы; изменять скорость вращения; включать перемешивание при расслоении среды; снижать потребление электроэнергии. Перспективным является адаптивное управление перемешиванием на основе данных о вязкости, температурном градиенте и интенсивности газовыделения.

Для оценки эффективности процесса важны не только объемы биогаза, но и его состав. Основными контролируемыми компонентами являются: метан; диоксид углерода; сероводород; кислород; водяной пар. Автоматические газоанализаторы позволяют определить качество биогаза в реальном времени. Это особенно важно при использовании биогаза в когенерационных установках, поскольку повышенное содержание сероводорода вызывает коррозию оборудования. Автоматизированная система газового хозяйства также включает датчики давления, предохранительные клапаны, газовые счетчики и системы аварийного сброса.

Современная автоматизированная система управления биогазовой установкой строится на нескольких уровнях.

Полевой уровень. На данном уровне размещаются датчики и исполнительные механизмы.

Контроллерный уровень. Контроллерный уровень представлен программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) [4]. Они обрабатывают сигналы от датчиков и формируют управляющие воздействия.

Диспетчерский уровень. Диспетчерский уровень обычно реализуется на базе SCADA-системы. Он обеспечивает: визуализацию технологических параметров; регистрацию данных; формирование отчетов; аварийную сигнализацию; удаленный доступ; анализ трендов. Применение SCADA позволяет оператору контролировать работу установки в режиме реального времени и принимать решения на основе объективных данных.

Интеллектуальный уровень. Развитие цифровых технологий создает условия для внедрения интеллектуальных систем управления биогазовыми установками. В отличие от классического регулирования, такие системы способны учитывать нелинейность и инерционность биохимических процессов. К перспективным интеллектуальным методам относятся:

- нечеткая логика – используется для управления процессами, где сложно построить точную математическую модель;
- нейронные сети – позволяют прогнозировать выход биогаза по данным о составе сырья, температуре, pH и органической нагрузке;
- цифровые двойники – создают виртуальную копию биогазовой установки, позволяющую моделировать различные режимы работы без риска для реального оборудования.

Автоматизация оказывает комплексное воздействие на работу биогазовой установки.

Стабилизация температуры, pH и органической нагрузки способствует повышению активности метаногенных микроорганизмов. Благодаря этому увеличивается удельный выход биогаза и содержание метана.

Автоматическое управление насосами, мешалками и системой подогрева позволяет оптимизировать энергопотребление. Кроме того, сокращается потребность в постоянном ручном контроле. Системы аварийной сигнализации и автоматической защиты предотвращают опасные ситуации, связанные с избыточным давлением газа, утечками метана или отказом оборудования. Стабильная работа установки снижает вероятность выбросов необработанного органического сырья и неконтролируемого выделения метана. Кроме того, автоматизация способствует более полному обезвреживанию отходов.

Проведены исследования возможности использования нейросетей для повышения эффективности биогазовых технологий.

Нейронная сеть для биогазовой установки может прогнозировать в нашем случае выход биогаза по данным: состав сырья; температура; pH; органическая нагрузка.

Анаэробное сбраживание инерционно. То есть изменение состава сырья сегодня может повлиять на выход биогаза не сразу, а через несколько часов или суток. Нейросетевая модель может прогнозировать выход биогаза на завтра, используя данные за последние 3-7 дней.

Для простой первой модели можно использовать обычную нейронную сеть, а для более точной – LSTM/GRU-сеть для временных рядов.

Рассмотрим пример структуры простой нейронной сети на TensorFlow/Keras с использованием языка программирования Python. После установки необходимых библиотек примерная структура кода нейронной сети (файл *biogas_data.csv*) будет выглядеть следующим образом (рисунок).

```
#1. Загрузка данных
data = pd.read_csv("biogas_data.csv")
#2. Просмотр первых строк
print(data.head())
#3. Выбор входных признаков
features = [ "temperature", "ph","organic_loading_rate","total_solids","volatile_solids"]
target = "biogas_output"
X = data[features]
y = data[target]
#4. Разделение на обучающую и тестовую выборки для примера используем train_test_split
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, shuffle=True, random_state=42)
#5. Масштабирование данных
scaler_X = StandardScaler()
X_train_scaled = scaler_X.fit_transform(X_train)
X_test_scaled = scaler_X.transform(X_test)
#6. Создание модели
model = Sequential([Dense(64, activation="relu",input_shape=(X_train_scaled.shape[1],)), Dense(32,
activation="relu"), Dropout(0.1), Dense(16, activation="relu"), Dense(1)])
#7. Компиляция модели
model.compile(optimizer=tf.keras.optimizers.Adam(learning_rate=0.001),loss="mse", metrics=["mae"])
#8. Ранняя остановка, чтобы избежать переобучения
early_stop = EarlyStopping(monitor="val_loss", patience=30, restore_best_weights=True)
#9. Обучение модели
history = model.fit(X_train_scaled, y_train_scaled, validation_split=0.2, epochs=500, batch_size=16,
callbacks=[early_stop], verbose=1)
#10. Прогноз
y_pred_scaled = model.predict(X_test_scaled)
#Возвращаем прогноз в исходные единицы измерения
y_pred = scaler_y.inverse_transform(y_pred_scaled)
y_test_original = y_test.values.reshape(-1, 1)
#11. Оценка качества
mae = mean_absolute_error(y_test_original, y_pred)
rmse = np.sqrt(mean_squared_error(y_test_original, y_pred))
r2 = r2_score(y_test_original, y_pred)
print("MAE:", mae)
print("RMSE:", rmse)
print("R2:", r2)
#12. Пример сравнения факта и прогноза
result = pd.DataFrame({"Факт": y_test_original.flatten(), "Прогноз": y_pred.flatten()})
print(result.head(20))
```

Код нейронной сети прогнозирования выхода биогаза

Для оценки качества нейросетевой модели используют: MAE (средняя абсолютная ошибка); RMSE (среднеквадратичная ошибка); R^2 (коэффициент детерминации). Для промышленной биогазовой установки хорошим результатом может быть: MAE 5-15 % от среднего суточного выхода биогаза, R^2 выше 0,75.

Нейросеть обычно не запускают напрямую на ПЛК, потому что ПЛК предназначен для надежного управления, а не для тяжелых вычислений. Практическая схема взаимодействия такая: датчики → ПЛК → SCADA/сервер → нейросеть → прогноз → SCADA/оператор или ПЛК → Modbus TCP/RTU → Python-сервер → прогноз. ПЛК собирает данные: температура; pH; давление; расход субстрата; состав сырья. Сервер считывает данные по протоколу Modbus. Python-программа делает прогноз. Прогноз передается: на SCADA; на панель оператора; обратно в ПЛК как рекомендация.

Автоматизация является одним из важнейших факторов повышения эффективности и надежности биогазовых установок. Комплексное внедрение датчиков, программируемых контроллеров, SCADA-систем и интеллектуальных алгоритмов позволяет поддерживать оптимальные условия метаногенеза, повышать выход биогаза, снижать энергозатраты и предотвращать аварийные ситуации. Одним из основных направлений повышения эффективности функционирования биогазовой установки является использование нейронных сетей, обучающихся на накопленных данных о её работе. Для интеграции с ПЛК нейросеть целесообразно размещать на отдельном сервере или промышленном компьютере, а ПЛК использовать для сбора данных и безопасного управления установкой.

Список литературы

1. Баадер Б. Биогаз. Теория и практика / Б. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. – М: Колос, 1982. – 148 с.
2. Панцхава Е.С. Биоэнергетика. Мир и Россия. Биогаз. Теория и практика: монография / Е.С. Панцхава. – М: Русайнс, 2014. – 972 с.
3. Пат. 2136147 Российской Федерации, МПК А01. Производственный биоэнергетический комплекс / Филимонов И.В., Горбунов Б.И., Краснов А.А., Михалев Е.В.; – № 98107236; заявл. 1998-04-20; опубл. 1999-09-10. – 3 с.
4. Чекалкин А, Мокрушин С. Автоматизация процесса анаэробного сбраживания органических отходов [Электронный ресурс]. – URL: https://owen.ru/uploads/352/aip_0112-36-37.pdf.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОПЕРАЦИЙ С ВАКУУМНЫМИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ 6-10 КВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

В.М. Панарин, А.А. Маслова, В.Ю. Карницкий, Е.О. Новикова,
С.В. Абросимов, В.В. Сало

Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** В статье рассмотрена системная проблема обеспечения безопасности оперативного (оперативно-ремонтного) персонала при выполнении переключений силовыми вакуумными выключателями (ВВ) 6-10 кВ с местных постов управления, установленных непосредственно на камерах КРУ и КСО. На основе анализа реальных аварийных случаев (с фотодокументацией) показана недостаточность существующей парадигмы «защиты в опасной зоне», включающей организационные и технические мероприятия. Предложена новая концепция, кардинально устраняющая коренной риск – физическое нахождение человека в зоне возможного воздействия электрической дуги.*

На большинстве промышленных предприятий с непрерывным технологическим циклом (металлургическая, химическая, стекольная отрасли) операции по включению и отключению вакуумных выключателей класса напряжения 6-10 кВ осуществляются с местных постов управления, расположенных непосредственно на камерах КРУ, КСО, КРУН. Несмотря на высокую паспортную надёжность современных ВВ, данный метод сопряжён с двумя категориями неустраняемых рисков для оперативного (оперативно-ремонтного) персонала:

- риск поражения электрическим током (случайное прикосновение, наведённое напряжение, пробой во вторичные цепи);
- риск тяжёлого травматизма вплоть до летального исхода вследствие воздействия электрической дуги, возникающей при отказе выключателя (потеря вакуума в дугогасительной камере, неполнофазное отключение, пробой изоляции из-за конденсата и т.п.).

Действующая нормативно-техническая база (пункт 139 [1]) допускает местное управление ВВ и делает ставку на комплекс организационно-технических мер и средств индивидуальной защиты (СИЗ) [3]. Однако анализ реальных аварийных случаев, в том числе с фотодокументацией последствий, показывает, что такой подход лишь «смягчает» последствия, но не устраняет причину – нахождение человека в опасной зоне в момент коммутации. При этом человеческий фактор, ограниченная эффективность СИЗ против мощной дуги и отсутствие обязательного требования оснащать РУ 6-10 кВ защитой от дуговых замыканий делают действующую систему безопасности критически уязвимой.

Цель исследования – разработка и обоснование новой концепции безопасности, базирующейся на полном удалении персонала из опасной зоны

при операциях с вакуумными выключателями 6-10 кВ посредством внедрения интеллектуальных ИИУС и защиты от дуговых замыканий.

1. Анализ существующих рисков и недостатков действующих мер безопасности.

1.1. Реальные аварийные события как доказательство несостоятельности местного управления.

В докладе приведены два характерных случая из эксплуатационной практики авторов (архивные фотоматериалы).

Первый случай: разгерметизация дугогасительной камеры вакуумного выключателя ВБ-10-20/630-1600 УХЛ2. При отключении тока нагрузки произошло электродуговое разрушение выключателя, выход плазмы и осколков за пределы камеры. Персонал, выполнявший переключение, находился непосредственно перед камерой и лишь благодаря счастливой случайности не пострадал (рис. 1).

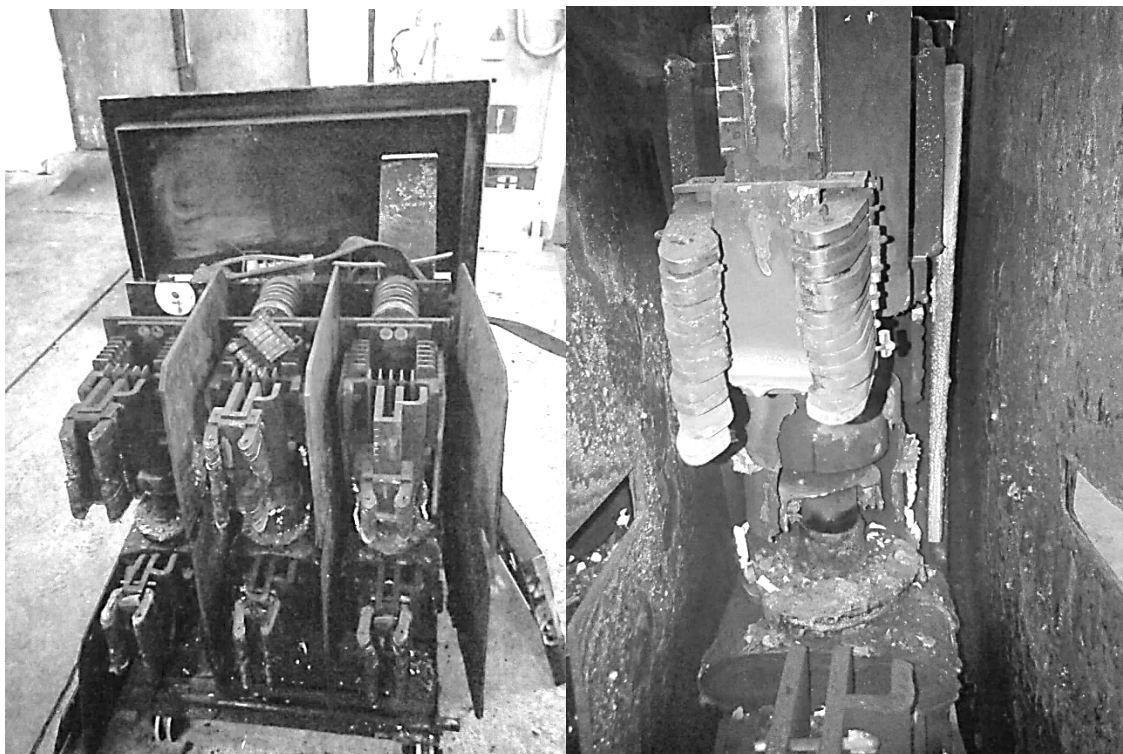


Рис. 1. Разрушение выключателя ВБ-10-20/630-1600 УХЛ2 в РУ-10 кВ при отключении тока нагрузки вследствие разгерметизации дугогасящей камеры одной из фаз (из архива авторов)

Второй случай: выпадение конденсата внутри полюса фазы вакуумного выключателя ВВ/TEL-10-20/630, находящегося под напряжением (рис. 2). При динамическом воздействии привода (включение/отключение) разбрызгивание влаги с высокой долей вероятности (такой случай имел место в практике одного из авторов доклада) вызовет перекрытие изоляции с развитием дуги. На подстанции, где зафиксирован этот дефект, отсутствует дистанционное управление – любой оперативный персонал вынужден стоять перед камерой при проведении оперативных переключений.



Рис. 2. Выпадение конденсата внутри корпуса фазы вакуумного выключателя типа ВВ/TEL-10-20/630 находящегося под напряжением на действующей подстанции в РУ-6 кВ (из архива авторов)

Эти примеры эмпирически доказывают, что даже при исправной системе РЗА и соблюдении всех инструкций вероятность внезапного дугового замыкания существует, а её последствия для человека, находящегося вблизи, – катастрофичны.

1.2. Критика действующего комплекса мер безопасности

Существующий комплекс включает:

1) Организационно-технические меры предотвращения:

- ведение оперативных переключений строго в соответствии с федеральными нормативно-техническими документами: [1, 2, 3]; строгое и неукоснительное соблюдение последовательности выполнения операций с коммутационными аппаратами в ходе оперативных переключений;

- осуществление регулярного технического обслуживания и проведения лабораторных испытаний и измерений (диагностики): проведение капитальных ремонтов и технического обслуживания согласно [13, 14, 16, 17] и комплекса лабораторных испытаний и измерений в соответствии с [18], в том числе испытание изоляция межконтактных разрывов дугогасительных камер согласно пункту 16.2.1 указанного документа;

- работа с персоналом: обучение, проверки знаний, проведение противоаварийных тренировок, инструктажи – постоянное поддержание квалификации персонала на достаточном уровне согласно [10, 11, 12, 15];

- применение современных надежных выключателей с сертифицированными характеристиками [4, 5, 6].

2) меры защиты персонала (пассивные):

- применение персоналом средств индивидуальной защиты (СИЗ) [3];

- быстродействующие устройства РЗА, устройства РЗА с абсолютной селективностью [7, 8, 9]: токовая отсечка (ТО), логическая защита шин (ЛЗШ) и самая значимая – защита от дуговых замыканий (ЗДЗ, дуговая защита); однако

установка ЗДЗ не является обязательным требованием ПУЭ, что является второй проблемой современной нормативно-технической базы наряду с допустимостью оперирования вакуумным выключателем, стоя перед ним;

- механические и электрические блокировки, препятствующие ошибочным действиям.

Системные недостатки:

Не устранение источника опасности – персонал продолжает находиться в зоне возможного дугового поражения.

Критическая зависимость от человеческого фактора – любые организационные меры могут быть нарушены (усталость, стресс, недостаток квалификации).

Ограниченная эффективность СИЗ – энергия мощной дуги может превысить расчётные значения защиты.

Пробелы в нормативной базе:

- пункт 139 Правил переключений [1] допускает местное управление как основной метод;

- ПУЭ [19] не требует обязательной установки ЗДЗ в РУ 6-10 кВ, что оставляет множество подстанций без дуговой защиты.

Невозможность полноценной диагностики без отключения – для проверки вакуумной камеры по [18] требуется отключить выключатель, но само отключение выполняется местно, создавая риск.

Таким образом, действующая парадигма «защиты в опасной зоне» исчерпала себя.

2. Предлагаемая концепция: от защиты к полному исключению рисков.

2.1. Смена парадигмы безопасности.

Авторами предлагается переход от пассивной защиты человека в опасной зоне к активному удалению персонала из неё. Базовый принцип: все плановые и аварийные переключения ВВ 6-10 кВ должны выполняться дистанционно (из общеподстанционного пункта управления) или телеуправлением (из оперативно-диспетчерского пункта). Местное управление сохраняется только как резервное (для оперативных переключений без напряжения в ходе ликвидации технологических нарушений [2]) и ремонтное (при проведении ТО, КР силового оборудования, профконтроля и профвосстановления устройств РЗА).

2.2. Ключевые технические решения.

Интеллектуальная информационно-измерительная и управляющая система (ИИУС) с функциями теле- и дистанционного управления:

- оснащение камер 6-10 кВ приводами с дистанционным управлением;
- установка микропроцессорных терминалов РЗА с функциями ТУ, ТС, ТИ и интерфейсами по МЭК 61850;
- создание единой ИИУС, охватывающей сеть 6-110 кВ предприятия, с центральным оперативно-диспетчерским пунктом.

Такая система, соответствующая описанной в наших предыдущих докладах (трехуровневая архитектура, интеграция нейросетевых модулей), обеспечивает:

- управление выключателями без выхода персонала в РУ;
- предиктивную аналитику (мониторинг трендов $3U_0$, $3I_0$, температуры и т.д.);
- программные блокировки топологии, исключающие ошибочные команды;

- виртуального помощника дежурного диспетчера на основе ИИ.

Обязательная защита от дуговых замыканий (ЗДЗ) во всех РУ 6-10 кВ:

- современные оптические ЗДЗ (например, серии «Лайм») срабатывают по спектру дуги за 5-10 мс, не реагируя на солнечный свет;
- ЗДЗ обеспечивает абсолютную селективность и локализацию дуги в пределах одной камеры, предотвращая её распространение и снижая термическое воздействие до безопасного уровня.

2.3. Предложения по совершенствованию нормативно-технической базы.

Инициировать пересмотр п. 139 Правил переключений [1], закрепив приоритет теле- и дистанционного управления как основного, а местное управление – как резервное/ремонтное.

Внести изменения в ПУЭ [19], сделав обязательным оснащение вновь строящихся, реконструируемых, технически перевооружаемых и модернизируемых РУ 6-10 кВ устройствами ЗДЗ, а для существующих РУ – рекомендовать дооснащение в плановом порядке.

3. Результаты внедрения и оценка эффективности.

Разработанная концепция была апробирована в ходе имитационного моделирования и поэтапного внедрения элементов ИИУС на объектах электросетевого хозяйства существующего Стеклотарного завода. Количественные и качественные результаты.

Полное исключение присутствия персонала в опасной зоне при операциях с ВВ 6-10 кВ – операции выполняются из ОПУ или ОДП. Риск поражения электрической дугой и током сведён к нулю.

Сокращение времени ликвидации технологических нарушений (особенно при поиске однофазных замыканий на землю) на 40-60 % за счёт мгновенного доступа ко всем телесигналам, к данным от телеизмерения и управлению силовыми выключателями всех присоединений и интеллектуальных подсказок.

Автоматизация до 85 % записей оперативного журнала через модуль NLP (на базе RuBERT), что снижает когнитивную нагрузку на дежурного диспетчера.

Предотвращение тяжёлых последствий – при моделировании отказа выключателя с дуговым замыканием в камере ЗДЗ отключала питающее присоединение за 15 мс, разрушения ограничивались одной камерой, персонал в РУ отсутствовал.

Экономический эффект складывается из:

- сокращения убытков от аварийных простоев (непрерывное производство);
- снижения страховых выплат и затрат на расследование несчастных случаев;
- оптимизации режимов и снижения потерь электроэнергии.

Закключение.

Существующая парадигма безопасности при эксплуатации вакуумных выключателей 6-10 кВ, основанная на местном управлении и защите персонала в опасной зоне, является недостаточной и не соответствует современному уровню технологий.

Анализ реальных аварийных случаев с разрушением дугогасительных камер и выпадением конденсата доказывает наличие ненулевой вероятности катастрофического отказа выключателя в момент, когда рядом находится человек.

Единственным радикальным решением является переход к управлению ВВ исключительно методами теле- и дистанционного управления на базе интеллектуальных ИИУС в сочетании с обязательным оснащением РУ 6-10 кВ быстродействующей защитой от дуговых замыканий.

Предложенная концепция полностью устраняет коренной риск – физическое нахождение персонала в зоне возможного воздействия дуги, а также даёт значительный синергетический эффект: повышение надёжности электроснабжения, сокращение времени аварий, автоматизацию документирования, поддержку решений диспетчера.

Для широкого внедрения необходимо инициировать изменения в Правилах переключений и ПУЭ, закрепляющие приоритет дистанционного/телеуправления и обязательность ЗДЗ.

Список литературы

1. *Правила переключений в электроустановках, утверждённые приказом Минэнерго России от 13 сентября 2018 г. № 757 (с изменениями на 9 декабря 2024 года).*

2. *Приказ Минэнерго России от 12 июля 2018 года № 548 «Об утверждении требований к обеспечению надёжности электроэнергетических систем, надёжности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем и объектов электроэнергетики» (с изменениями на 9 декабря 2024 года).*

3. *Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок, утверждённые приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года N 903н (с изменениями на 29 апреля 2022 года).*

4. *Назарычев А.Н., Сулыненков И.Н., Таджибаев А.И. Оценка надёжности выключателей распределительных устройств электрических станций и подстанций: учеб. пособие. / ФГАОУ ДПО «Петербургский энергетический университет повышения квалификации». – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2018. – 172 с.*

5. *Шульга Р.Н. Вакуумные и элегазовые выключатели переменного и постоянного тока: учебное пособие / Р.Н. Шульга. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. – 220 с.*

6. *Гусев С.А. Очерки по истории развития выключателей переменного тока: учеб. пособие / С.А. Гусев. – Москва, 2022. – 356 с.*

7. Чернобровов Н.В. Релейная защита: учебное пособие для техникумов. Изд. 5-е перераб. и доп. – М.: Альянс, 2025. – 680 с.
8. Ершов А.М. Релейная защита в системах электроснабжения напряжением 0,38-110 кВ: учебное пособие для практических расчётов / А.М. Ершов. – 2-е изд., перераб. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. – 608 с.
9. Бирюлин В.И. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем: учебное пособие / В.И. Бирюлин, Д.В. Куделина. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 164 с.
10. Оперативное управление в энергосистемах: учебное пособие / В.С. Бойчук, А.В. Куксин. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 404 с.
11. Оперативное управление распределительными электрическими сетями: учебное пособие / А.Н. Алюнов, Н.П. Скрябин. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 180 с.
12. Вантеев А.И. Обслуживание электрических подстанций: теория и практика: учебное пособие / А.И. Вантеев. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 368 с.
13. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утверждённые Приказом Минэнерго России от 04.10.2022 г. N 1070 (с изменениями на 09.12.2024 г.).
14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей, утвержденных Приказом Минэнерго РФ от 12 августа 2022 года № 811.
15. Правила работы с персоналом в организациях электроэнергетики Российской Федерации, утверждённые приказом Минэнерго России от 22 сентября 2020 г. № 796 (с изменениями на 9 декабря 2024 года).
16. Приказ Минэнерго России от 25 октября 2017 года № 1013 «Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и без-опасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики» (с изменениями на 19 декабря 2023 года).
17. Приказ Минэнерго России от 13 июля 2020 года № 555 «Об утверждении Правил технического обслуживания устройств и комплексов релейной защиты и автоматики и внесении изменений в требования к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики», утвержденных приказом Минэнерго России от 25 октября 2017 г. № 1013».
18. СТО 34.01-23.1-001-2017 «Объем и нормы испытаний электрооборудования. Стандарт организации». Дата введения: 29.05.2017».
19. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд.

АРХИТЕКТУРА, АЛГОРИТМЫ И МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА 6-110 КВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В.М. Панарин, А.А. Маслова, В.Ю. Карницкий, Е.О. Новикова,
С.В. Абросимов, В.В. Сало
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** В докладе представлены результаты разработки интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы (ИИУС) для объектов электросетевого хозяйства 6-110 кВ промышленного потребителя. Описана трёхуровневая распределённая архитектура (полевой, сетевой, диспетчерско-аналитический уровни) с интеграцией трёх нейросетевых модулей – «Предиктор», «Аналитик», «Протоколист». Раскрыто алгоритмическое ядро на основе гибридной циклично-событийной модели, включая усовершенствованные алгоритмы телеуправления (ТУ) с многоуровневыми блокировками безопасности, телесигнализации (ТС), телеизмерения (ТИ) с расширенной валидацией и телерегулирования (ТР). Представлена комплексная методология сбора и обработки данных, сочетающая промышленные протоколы (IEC 61850, Modbus, МЭК 60870-5-104), контроль достоверности с присвоением меток качества (DQ) и методы машинного обучения (LSTM, ID-CNN, NLP). Эффективность подтверждена имитационным моделированием на цифровом двойнике действующего предприятия: сокращение времени анализа аварийных ситуаций на 40-60 %, автоматизация до 85 % записей оперативного журнала, полное исключение персонала из опасной зоны при коммутациях 6-10 кВ.*

Объекты электросетевого хозяйства 6-110 кВ промышленных предприятий с непрерывным циклом производства относятся к критической инфраструктуре. Их отказ приводит к экономическим потерям, экологическим рискам и угрозе жизни персонала. Традиционные системы оперативно-диспетчерского управления носят реактивный характер: дежурный диспетчер видит уже свершившееся нарушение и вынужден самостоятельно анализировать ситуацию, что ведёт к задержкам, ошибкам и высокой нагрузке на человека [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Кроме того, повсеместно распространённая практика местного управления вакуумными выключателями 6-10 кВ [1, 2, 3] создаёт неприемлемые риски поражения электрической дугой и током.

Таким образом, актуальной является разработка системы нового поколения, которая:

- обеспечивает теле- и дистанционное управление всеми коммутационными аппаратами, исключая нахождение персонала в опасной зоне;
- выполняет предиктивную аналитику для заблаговременного выявления развивающихся дефектов (несимметрия, ухудшение изоляции);
- поддерживает дежурного диспетчера в аварийных режимах, предлагая оптимальные последовательности действий;
- автоматизирует документирование оперативной работы.

Цель исследования – разработка архитектуры, алгоритмического ядра и методологии сбора и обработки данных интегрированной ИИУС для объектов

электросетевого хозяйства промышленного предприятия 6-110 кВ, обеспечивающей переход от реактивного к предиктивному и интеллектуально-поддерживаемому управлению.

1. Архитектура ИИУС.

Система трёхуровневая, модульная.

Полевой уровень: трансформаторы тока и напряжения, выключатели с дистанционным приводом, микропроцессорные терминалы РЗА (сбор мгновенных значений, осциллограммы, функции ТУ/ТС/ТИ/ТР).

Сетевой уровень: подстанционные шкафы ИИУС (промышленный контроллер, ИБП). Агрегация данных по IEC 61850, Modbus, МЭК 60870-5-104; локальная автоматика (АВР); буферизация; связь с центром; локальный интерфейс для дежурного электромонтёра (функция ОПУ).

Диспетчерско-аналитический уровень (оперативно-диспетчерский пункт): SCADA-сервер, АПК «Виртуальный помощник ДД» с тремя нейросетевыми модулями, АРМ диспетчера.

Взаимодействие – по принципу «публикация-подписка» через единую шину данных. SCADA публикует данные; модули подписываются; результаты (прогнозы, рекомендации) отображаются на АРМ.

2. Алгоритмическое ядро.

Гибридная циклично-событийная модель: циклический контур (1-2 с) – плановый опрос, сбор ТИ, актуализация ТС; событийный контур (высший приоритет) – активация при срабатывании РЗА, аварийной ТС, прогнозе или команде ТУ.

Алгоритм ТИ – помимо сбора мгновенных значений: расчёт $3U_0$, $3I_0$, dU_0/dt , dI_0/dt [13]; многоуровневая валидация (физическая непротиворечивость, фильтрация); присвоение метки качества (DQ Tag: «Достоверно»/«Недостоверно»); буферизация временных рядов для «Предиктора».

Алгоритм ТС – классификация сигналов (аварийный, предупредительный, позиционный, информационный). Аварийные сигналы – звук/свет на АРМ. ОЗЗ и срабатывания защит запускают модуль «Аналитик».

Алгоритм ТУ – четыре уровня проверок (защита в глубину):

- авторизация диспетчера;
- технологические блокировки (запрет операций разъединителем под нагрузкой);
- топологическая блокировка (цифровая модель сети);
- блокировка безопасности персонала (для коммутации 6-10 кВ): подтверждение отсутствия людей в РУ – автоматически от СКУД или вводом одноразового кода.

Только после всех уровней команда исполняется.

Алгоритм ТР – управление РПН трансформаторов для поддержания напряжения [15, 16] вручную, автоматически или по рекомендации ИИ.

Интеграция с модулями: данные ТИ ($3U_0$, $3I_0$) → «Предиктор»; событие ТС «ОЗЗ» → запуск «Аналитика»; рекомендации «Аналитика» → алгоритм ТУ; все операции документируются «Протоколистом».

3. Методы сбора и обработки данных.

Многоуровневый сбор: поле – высокочастотные АЦП терминалов; сеть – агрегация через IEC 61850, Modbus, МЭК 60870-5-104, DNP3; центр – приём по VPN/MPLS.

Контроль достоверности (Data Quality Management) [11]: валидация (законы Кирхгофа, границы), обогащение (производные), DQ-метка. Только «Достоверно» поступает в БД и на вход ИИ.

Методы машинного обучения:

- LSTM – прогноз временных рядов $3U_0$, $3I_0$ (модуль «Предиктор»);
- 1D-CNN – анализ осциллограмм токов нулевой последовательности, интеграция с экспертной системой (модуль «Аналитик»);
- NLP (RuBERT) – распознавание речи, извлечение сущностей, формирование записей журнала («Протоколист»);
- «Изолирующий лес» – выявление скрытых аномалий.

Имитационное моделирование – цифровой двойник Стеклотарного завода в MATLAB/PowerFactory для генерации данных, обучения и тестирования.

4. Результаты.

Имитационное моделирование и опытное внедрение показали:

- сокращение времени анализа аварийной ситуации и принятия решений на 40-60 % (особенно при отыскании места ОЗЗ);
- автоматизация до 85 % записей оперативного журнала;
- полное исключение нахождения персонала в опасной зоне при операциях с выключателями 6-10 кВ;
- превентивное выявление дефектов изоляции (по росту $3U_0$).

Качественные эффекты: переход от реактивной модели оперативно-диспетчерского управления Потребителей электрической энергии к проактивной, снижение когнитивной нагрузки на дежурного диспетчера [4, 5, 6], минимизация человеческого фактора, повышение безопасности труда.

Заключение.

Разработанная ИИУС – целостное, практически реализуемое решение для проактивного управления электросетевым хозяйством. Трёхуровневая архитектура с нейросетевыми модулями обеспечивает масштабируемость и надёжность. Гибридное циклично-событийное ядро и усовершенствованные алгоритмы ТУ/ТС/ТИ/ТР (включая четырёхуровневую блокировку безопасности [13]) создают интеллектуально-поддерживаемый контур управления [14]. Методология сбора и обработки данных (промышленные протоколы, контроль достоверности, LSTM, 1D-CNN, NLP) гарантирует качество входной информации для предиктивной аналитики.

Подтверждённая имитационным моделированием эффективность (40-60 % сокращения времени анализа, 85 % автоматизации документирования, исключение персонала из опасной зоны) позволяет рекомендовать систему для цифровой трансформации электросетевого хозяйства промышленных потребителей.

Список литературы

1. Правила переключений в электроустановках, утверждённые приказом Минэнерго России от 13 сентября 2018 г. № 757 (с изменениями на 9 декабря 2024 года).
2. Приказ Минэнерго России от 12 июля 2018 года № 548 «Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем и объектов электроэнергетики» (с изменениями на 9 декабря 2024 года).
3. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок, утверждённые приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года N 903н (с изменениями на 29 апреля 2022 года).
4. Бойчук В.С. Оперативное управление в энергосистемах: учебное пособие / В.С. Бойчук, А.В. Куксин. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 404 с.
5. Алюнов А.Н. Оперативное управление распределительными электрическими сетями: учебное пособие / А.Н. Алюнов, Н.П. Скрыбин. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 180 с.
6. Вантеев А.И. Обслуживание электрических подстанций: теория и практика: учебное пособие / А.И. Вантеев. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 368 с.
7. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утверждённые Приказом Минэнерго России от 04.10.2022 г. N 1070 (с изменениями на 09.12.2024 г.).
8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей, утвержденных Приказом Минэнерго РФ от 12 августа 2022 года № 811.
9. Правила работы с персоналом в организациях электроэнергетики Российской Федерации, утверждённые приказом Минэнерго России от 22 сентября 2020 г. № 796 (с изменениями на 9 декабря 2024 года).
10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд.
11. Рябов И.В. Автоматизированные информационно-управляющие системы: учебное пособие / И.В. Рябов. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 208 с.
12. Новиков Н.Ю. Основы теории информационно-измерительных и управляющих систем / Н.Ю. Новиков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2022. – 560 с.
13. Тырышкин С.Ю. Информационно-измерительные и управляющие системы: учебное пособие для вузов / С.Ю. Тырышкин. – Москва.: Изд-во Юрайт, 2025. – 124 с.
14. Добронец Б.С. Интеллектуальные информационно-измерительные и управляющие системы: учебное пособие / Б.С. Добронец, О.А. Попова. – Москва.: ИНФРА-М, 2026. – 66 с.
15. Бушуева О.А. Управление уровнями напряжения в распределительных электрических сетях: учебное пособие / О.А. Бушуева, Д.Н. Кормилицин, Ю.С. Мешкова. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2025. – 124 с.

16. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. *Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems. МКС 29.020. 33.100. Дата введения 2014-07-01.1.*

МОДЕЛИ ОБМЕНА ДАННЫМИ И ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА 6-110 кВ

В.М. Панарин, А.А. Маслова, В.Ю. Карницкий, Е.О. Новикова,
С.В. Абросимов, В.В. Сало
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. Представлены результаты разработки и верификации интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы (ИИУС) для объектов электросетевого хозяйства класса напряжения 6-110 кВ Потребителей электрической энергии. Рассмотрены две ключевые составляющие: организация отказоустойчивого обмена данными в условиях ограниченной пропускной способности каналов (включая радиоканалы 4G/LTE) и проектирование человеко-машинного интерфейса (ЧМИ), снижающего когнитивную нагрузку на диспетчера. На основе теории массового обслуживания (модель М/М/1/К) обоснован требуемый объём буферной памяти подстанционного уровня (до 2 Мбайт). Доказана пригодность резервных каналов 4G/LTE для телеуправления: среднее время доставки команды – 0,22 с даже при потерях пакетов. Разработан механизм приоритезации трафика (QoS), позволяющий передавать осциллограммы COMTRADE фрагментами в паузах между оперативными данными, удерживая загрузку канала не выше 70%. Реализована парадигма «Цифровой помощник» с тремя нейросетевыми модулями («Предиктор», «Аналитик», «Протоколист»). Апробация на Стеклотарном заводе подтвердила снижение времени локализации ОЗЗ на 40-60 % и исключение ошибок документирования.

Рост объёмов передаваемой информации в распределительных сетях 6-110 кВ (телеизмерения, телесигналы, осциллограммы COMTRADE) требует научно обоснованного подхода к организации каналов связи. Эвристическое резервирование часто ведёт либо к избыточности ресурсов, либо к потерям данных и задержкам команд телеуправления (ТУ). Одновременно сохраняется проблема «человеческого фактора»: разрозненные мнемосхемы и потоки событий в условиях стресса приводят к ошибкам при ликвидации аварий, особенно при поиске однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). Целью статьи является изложение двух инженерных решений: методики расчёта системы обмена данными [4] на основе теории массового обслуживания и концепции интеллектуального ЧМИ с тремя виртуальными помощниками.

1. Модели обмена данными и каналы связи.

1.1. Архитектура и протоколы.

Обмен данными построен по трёхуровневой иерархической модели (полевой, сетевой, диспетчерско-аналитический уровни). На уровне подстанции используется промышленный Ethernet с синхронизацией IEEE 1588 (PTP) и кольцевой топологией (протокол MRP, время восстановления 10-20 мс). Для связи с центром – комбинация ВОЛС (приоритет) и резервных радиоканалов 4G/LTE с обязательным шифрованием (VPN, IPsec). В оперативно-диспетчерском пункте [1, 2, 3] организована структурированная кабельная система с разделением трафика на VLAN (Telecontrol, AI, Admin, Guest) и межсетевым экраном.

1.2. Математическое обоснование буфера и задержек.

Для расчёта загрузки канала и размера буфера применена модель M/M/1/K теории массового обслуживания. Средняя загрузка канала $\rho = \lambda \cdot L / C$ (λ – интенсивность пакетов, L – длина пакета, C – пропускная способность). Рекомендуемое значение $\rho < 0,7$. Вероятность потери пакета $P_{loss} = (1-\rho) \cdot \rho^K / (1-\rho^{K+1})$ при $\rho \neq 1$. Для $\rho=0,8$ и $P_{loss} < 10^{-6}$ требуется $K \approx 60$ пакетов. Объём энергонезависимой памяти подстанционного шкафа должен быть не менее $\lambda \cdot L \cdot T_{res}$, где T_{res} – время восстановления связи (до 72 часов). Для типовой подстанции 110/6 кВ (два питающих присоединения, два трансформатора, до двадцати отходящих линий) расчёт показал достаточность 2 Мбайт – это гарантирует сохранность данных при длительных перерывах связи.

1.3. Оценка времени доставки команд ТУ по радиоканалу.

При использовании протокола IEC 60870-5-104 поверх TCP/IP и вероятности потери пакета 5 % (худший случай устойчивой связи) среднее время доставки команды ТУ составляет 0,21-0,22 секунды (при отсутствии потерь – 0,2 с). Даже при двукратной потере (вероятность 0,25 %) время не превышает 0,6 с. Это полностью допустимо для оперативного управления [1, 2, 3]. Таким образом, резервные каналы 4G/LTE могут полноценно применяться без строительства дорогих ВОЛС в труднодоступных местах.

1.4. Приоритезация трафика и передача осциллограмм.

Осциллограммы COMTRADE – самый «тяжёлый» вид данных (30-32 Кбайт на одну запись) [5]. При одновременном срабатывании нескольких защит (например, четырёх) возникает потребность в передаче до 128 Кбайт. Если передавать их «сплошным потоком», радиоканал 4G/LTE загружается на 100 %, что может задержать оперативные данные. Решение – трёхуровневая приоритезация: высший – команды ТУ и GOOSE, средний – телеизмерения и телесигналы, низший – осциллограммы и журналы. Осциллограммы разбиваются на блоки по 1 – 2 Кбайт и вставляются в паузы между оперативными данными. Имитационное моделирование показало: при одновременном запросе пяти осциллограмм загрузка канала не превышает 70 %, а время доставки полного комплекта увеличивается незначительно (с 0,7 до 1,2 с), что не критично для послеаварийного анализа.

2. Человеко-машинный интерфейс (ЧМИ) и виртуальные помощники [7].

2.1. Общая компоновка АРМ диспетчера.

АРМ дежурного диспетчера построен на принципах ситуационной осведомлённости и когнитивной эргономики. Основной экран разделён на зоны:

- центральная (≥ 60 %) – интерактивная мнемосхема сети с унифицированной цветовой индикацией (красный – включено, зелёный – отключено, синий – ремонт, мигающий оранжевый/красный – авария);
- боковая панель – иконки виртуальных помощников («Предиктор», «Аналитик», «Протоколист»);
- нижняя панель – хронологический список событий с ранжированием по критичности;
- верхняя панель – системная информация (время, смена, статусы связи).

2.2. Виртуальные помощники.

«Предиктор» – отображает интегральный риск («светофор»), таблицу участков с вероятностью развития ОЗЗ в ближайшие 72 часа, тренды и рекомендуемые действия (осмотр, испытания, подготовка схемы). При выборе строки – график фактических и прогнозных значений (LSTM) с доверительным интервалом.

«Аналитик» – активируется автоматически при сигнале ОЗЗ, разворачиваясь на весь экран. Предлагает пошаговый мастер: подтверждение факта ОЗЗ, затем ранжированный список линий для отключения. Ранжирование учитывает 12 критериев: категория надёжности потребителей, тип ЛЭП (ВЛ/КЛ), материал опор, возраст, число отключений за три года, ток нагрузки и др. Для каждой линии – краткое обоснование вероятности (например, «92 %: воздушная линия, деревянные опоры, рост 3Ю, потребители III категории»). Кнопка «Выполнить ТУ» запускает команду с прохождением четырёхуровневой блокировки безопасности (включая подтверждение отсутствия персонала).

«Протоколист» – автоматически формирует черновики записей оперативного журнала на основе событий SCADA и расшифровки переговоров (NLP, RuBERT). Каждая запись имеет статус (новая, просмотрена, подтверждена, отклонена) и интерактивные кнопки «Принять», «Редактировать», «Дополнить голосом». Интегрировано голосовое управление: команда «Журнал: ...» создаёт новую запись.

2.3. Взаимодействие в аварийной ситуации.

Алгоритм действий диспетчера формализован [6]: звуковая/световая сигнализация → квитирование → автоматическое развёртывание окна «Аналитик» с рекомендациями → выполнение ТУ (с подтверждением блокировок) → автоматическое документирование. Диспетчер переходит от роли оператора, выполняющего рутинные операции, к руководителю, принимающему стратегические решения на основе интеллектуальной поддержки. Это снижает время ликвидации ОЗЗ на 40-60% и практически исключает ошибки ведения документации.

3. Результаты и практическая эффективность.

Разработанные решения прошли апробацию на цифровом двойнике и в ходе противоаварийных тренировок [1, 2, 3] административно-технического

персонала с правами оперативно-ремонтного действующего Стеклотарного завода (2024-2025 гг.). Ключевые результаты:

- научно обоснован объём буферной памяти подстанционного шкафа ИИУС (2 Мбайт), что исключает потерю данных при перерывах связи;
- подтверждена пригодность радиоканалов 4G/LTE для телеуправления (средняя задержка 0,22 с);
- механизм приоритезации трафика позволяет передавать осциллограммы без перегрузки канала (загрузка $\leq 70\%$);
- интерфейс «Цифровой помощник» обеспечивает сокращение времени анализа и локализации ОЗЗ на 40-60 %;
- автоматизация оперативного журнала достигает 85 % записей;
- полностью исключено выполнение операций силовыми выключателями при нахождении персонала в опасной зоне (благодаря четвёртому уровню блокировки безопасности).

Заключение.

В докладе представлено комплексное решение двух взаимосвязанных задач: отказоустойчивого обмена данными в распределённой ИИУС и создания интеллектуального человеко-машинного интерфейса. Применение теории массового обслуживания (модель М/М/1/К) позволило перейти от эвристических назначений к научно обоснованному выбору параметров каналов и буферной памяти. Доказана возможность эффективного использования радиоканалов 4G/LTE для телеуправления. Разработанный ЧМИ с тремя виртуальными помощниками («Предиктор», «Аналитик», «Протоколист») реализует парадигму «Цифровой помощник», снижая когнитивную нагрузку на диспетчера и минимизируя влияние человеческого фактора. Апробация на действующем предприятии подтвердила снижение времени ликвидации ОЗЗ на 40-60 % и автоматизацию до 85% записей оперативного журнала. Дальнейшие исследования будут направлены на развитие методов машинного обучения и интеграцию больших языковых моделей (LLM).

Список литературы

1. Бойчук В.С. *Оперативное управление в энергосистемах: учебное пособие* / В.С. Бойчук, А.В. Куксин. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 404 с.
2. Алюнов А.Н. *Оперативное управление распределительными электрическими сетями: учебное пособие* / А.Н. Алюнов, Н.П. Скрябин. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 180 с.
3. Вантеев А.И. *Обслуживание электрических подстанций: теория и практика: учебное пособие* / А.И. Вантеев. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 368 с.
4. Рябов И.В. *Автоматизированные информационно-управляющие системы: учебное пособие* / И.В. Рябов. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 208 с.
5. Новиков Н.Ю. *Основы теории информационно-измерительных и управляющих систем* / Н.Ю. Новиков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2022. – 560 с.

6. Тырышкин С.Ю. Информационно-измерительные и управляющие системы: учебное пособие для вузов / С.Ю. Тырышкин. – Москва.: Издательство Юрайт, 2025. – 124 с.

7. Добронец Б.С. Интеллектуальные информационно-измерительные и управляющие системы: учебное пособие / Б.С. Добронец, О.А. Попова. – Москва.: ИНФРА-М, 2026. – 66 с.

МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ ДИСБАЛАНСА ДАННЫХ ПРИ МНОГОЗАДАЧНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЁРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Е.С. Коцелап, В.М. Чубич

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск

***Аннотация.** На базе открытого набора данных РТВ-ХЛ исследовано влияние дисбаланса мультитейбл-разметки в задачах автоматической диагностики сердечно-сосудистых заболеваний на предсказательную способность модели InceptionTime. Предложен комплексный подход к компенсации смещения мажоритарных классов, включающий использование взвешенной бинарной кросс-энтропии *Weighted BCEWithLogitsLoss* и алгоритм автоматического поиска индивидуальных порогов классификации на основе максимизации F1-меры. Показано, что применение данных методов позволяет существенно повысить метрику полноты *Recall* для редких и клинически значимых патологий (инфаркт миокарда, гипертрофия и др.).*

Сердечно-сосудистые заболевания остаются одной из главных причин смертности в мире, что делает задачу ранней автоматизированной диагностики по электрокардиограммам (ЭКГ) крайне актуальной.

Современные методы глубокого обучения (в частности, одномерные свёрточные нейронные сети) демонстрируют высокую эффективность в извлечении диагностических признаков из «сырых» биосигналов. При переходе от бинарной классификации к реальным клиническим задачам исследователи сталкиваются с двумя фундаментальными проблемами: многозадачностью и выраженным дисбалансом данных. В крупных медицинских наборах данных, таких как РТВ-ХЛ [1], записи здоровых пациентов встречаются значительно чаще, чем записи пациентов с редкими, но критически опасными патологиями (например, инфаркт миокарда или гипертрофия). Обучение стандартных нейросетевых классификаторов на таких данных приводит к смещению модели: сеть максимизирует общую точность (Accuracy) за счет игнорирования миноритарных классов.

Целью работы являлась реализация и исследование методов программной компенсации дисбаланса при обучении модели InceptionTime на данных ЭКГ.

В качестве эмпирической базы использовался открытый набор данных РТВ-ХЛ, размещенный в международном репозитории PhysioNet (версия 1.0.3).

Набор включает в себя 21 837 записей 12-канальных ЭКГ длительностью 10 секунд с частотой дискретизации 100 Гц. Исходные диагностические метки были агрегированы в пять суперклассов: норма (NORM), инфаркт миокарда (MI), изменения сегмента ST и зубца Т (STTC), нарушения проводимости (CD) и гипертрофия (HYP). Предварительный анализ распределения (см. рисунок 1) показал, что класс NORM доминирует, тогда как классы HYP и CD представлены в значительно меньшем количестве.

Распределение диагнозов

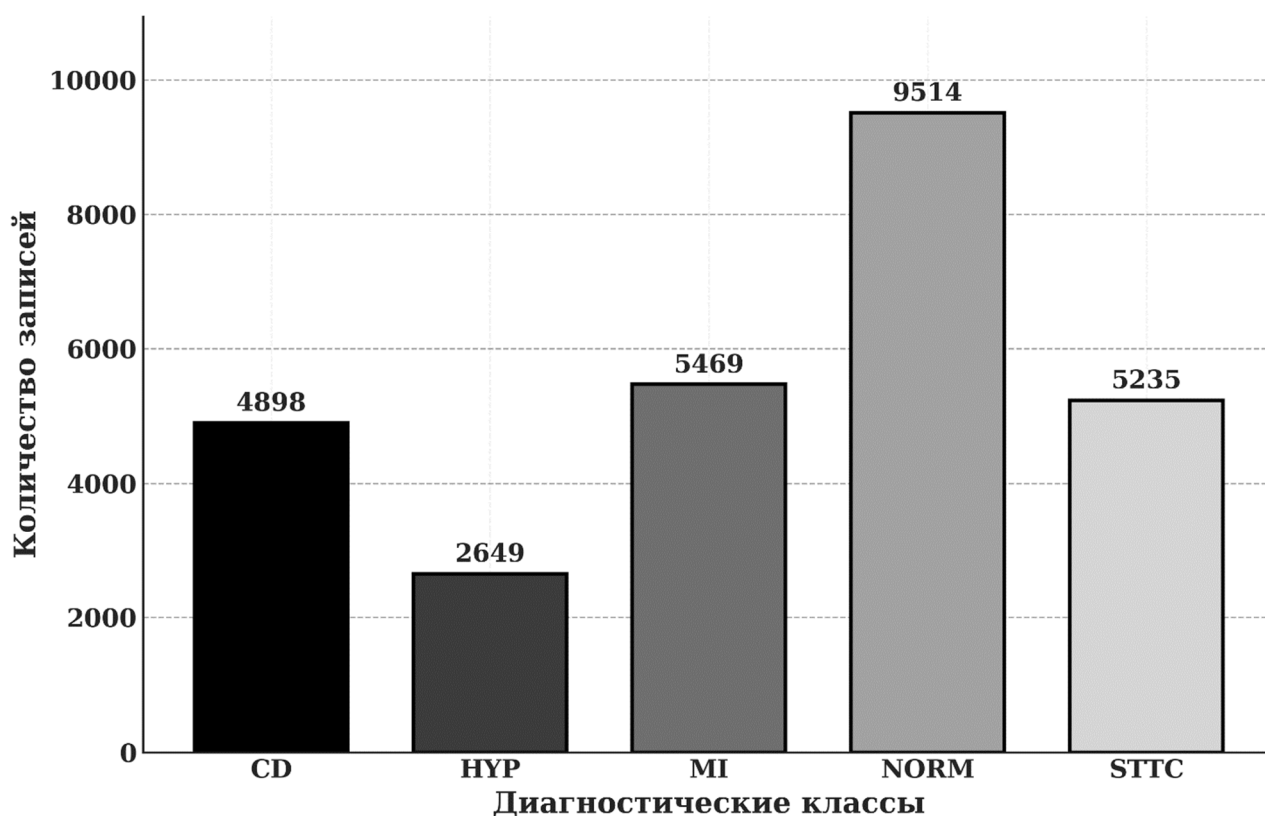


Рис. 1. Распределение количества ЭКГ-записей по пяти диагностическим суперклассам в наборе данных PTB-XL

В качестве базовой архитектуры классификатора была выбрана одномерная свёрточная сеть InceptionTime [2, 3], способная, благодаря Inception-модулям, параллельно извлекать как высокочастотные, так и низкочастотные признаки ЭКГ-сигнала. Для преодоления проблемы дисбаланса был применен комплексный двухэтапный подход.

Поскольку задача является мультилейбл-классификацией (у пациента может быть несколько диагнозов одновременно), использование функции активации Softmax на выходном слое некорректно, так как она предполагает взаимоисключающие классы. В отличие от ряда современных работ по классификации ЭКГ-сигналов на базе PTB-XL (например, в [4] применялась функция активации Softmax, ограничивающая модель задачей поиска единственного диагноза), в данной работе для независимой оценки вероятности наличия каждой патологии использовалась сигмоидная функция активации (Sigmoid). В программной реализации для обучения модели InceptionTime

применялась функция потерь в виде бинарной кросс-энтропии с логитами BCEWithLogitsLoss, объединяющая слой Sigmoid и вычисление потерь в один вычислительно стабильный шаг.

Для борьбы со смещением в доминирующий класс NORM была использована взвешенная модификация данной функции Weighted BCEWithLogitsLoss. Каждому классу был назначен весовой коэффициент, пропорциональный его клинической значимости и обратно пропорциональный частоте встречаемости в обучающей выборке. Вектор весов был эмпирически задан следующим образом: 1.0 для CD и NORM; 1.5 для STTC; 2.0 для НУР и МІ. Данный подход накладывает повышенный штраф на нейронную сеть за ложноотрицательные предсказания (пропуск болезни) в критических категориях МІ и НУР.

Математически функция потерь вычислялась по формуле

$$L_{BCE}(y, \hat{y}) = -\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 [w_i \cdot y_i \ln(\sigma(\hat{y}_i)) + (1 - y_i) \ln(1 - \sigma(\hat{y}_i))],$$

где для i -го класса: w_i – весовой коэффициент, компенсирующий дисбаланс путём штрафа за ложноотрицательные предсказания; $y_i \in \{0, 1\}$ – истинная метка (1 – патология присутствует, 0 – отсутствует); $\hat{y}_i$ – логит (сырой выход сети до функции активации); $\sigma(\hat{y}_i) = \frac{1}{1 + e^{-\hat{y}_i}}$ – сигмоидная функция активации, преобразующая логит в вероятность.

Стандартные классификаторы используют фиксированный порог – 0.5 (если вероятность выше 50 % – класс присваивается). Для редких патологий сеть часто выдает более низкую уверенность. Для предотвращения пропуска больных пациентов был разработан алгоритм автоматического поиска оптимальных порогов. На независимой валидационной выборке осуществлялся перебор значений от 0.1 до 0.9 с шагом 0.05. Оптимальным признавался порог, максимизирующий целевую метрику F1-score для конкретного класса.

Оценка предложенных методов производилась на тестовой выборке (10-й блок разбиения базы РТВ-XL). Для объективной оценки качества в условиях дисбаланса использовалась макро-усредненная F1-мера и метрика полноты.

Алгоритм поиска порогов позволил определить следующие оптимальные значения: NORM – 0.45, МІ – 0.50, STTC – 0.50, CD – 0.40, НУР – 0.45. Снижение порогов для классов CD и НУР логично отражает их меньшую представленность в наборе данных.

Для анализа зависимости между точностью Precision и полнотой Recall при различных значениях порога классификации для каждого из пяти диагностических суперклассов были построены кривые точности-полноты, изображённые на рисунке 2. Здесь же приведены соответствующие значения площадей под кривыми AUC (от англ. Area Under the Curve). NORM имеет высокий AUC из-за большого количества примеров, НУР – миноритарный класс с наибольшей сложностью, который распознаётся сложнее, но благодаря выбранной функции потерь алгоритм стабильно выявляет и его. Их использование оправдано в условиях выраженного дисбаланса данных,

поскольку они более чувствительны к качеству распознавания миноритарных классов.

Использование взвешенной функции потерь в комбинации с индивидуальными порогами позволило архитектуре InceptionTime достичь значения полноты Recall 0.7369 и макро-F1 меры 0.7195. В сравнении с базовыми подходами (например, LSTM из [5], где Recall = 0.5663), предложенный метод позволил значительно снизить количество ложноотрицательных срабатываний. Сеть стала эффективнее выявлять миноритарные классы гипертрофии и нарушений проводимости, не теряя при этом общей точности.

Кривые точности-полноты (Precision-Recall)

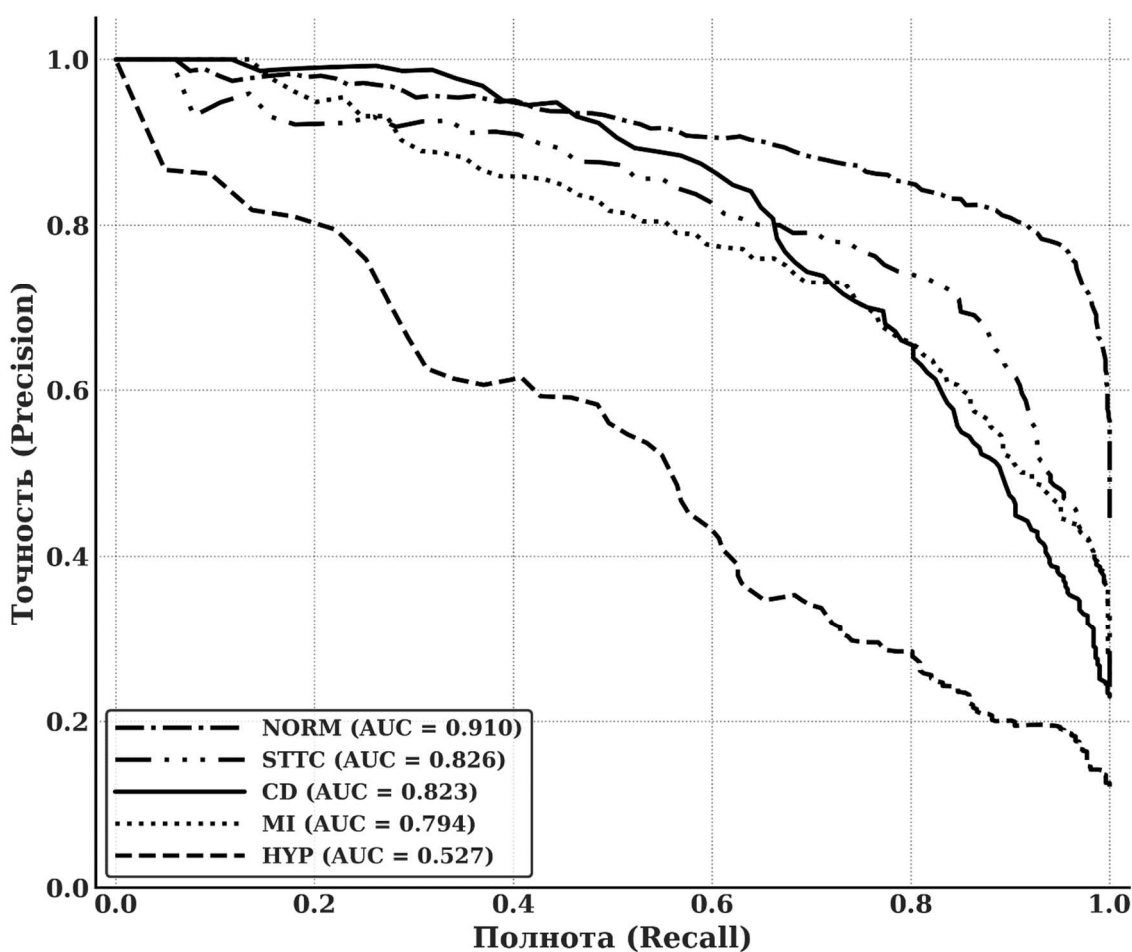


Рис. 2. Кривые точности-полноты (Precision-Recall) для пяти диагностических суперклассов с учетом оптимизированных порогов

Проведенное исследование показало, что при анализе ЭКГ выбор архитектуры нейронной сети должен обязательно сопровождаться методами работы с дисбалансом классов. Отказ от стандартного порога 0.5 в пользу автоматизированного поиска индивидуальных порогов, а также применение взвешенной бинарной кросс-энтропии, позволило адаптировать модель InceptionTime к реальным клиническим условиям. Предложенный подход существенно повысил способность системы выявлять редкие, но опасные сердечные патологии, что критически важно для систем поддержки принятия врачебных решений.

Список литературы

1. Wagner P. PTB-XL, a large publicly available electrocardiography dataset / P. Wagner, N. Strodthoff, R.D. Bousseljot // *Scientific Data*. – 2020. – Vol. 7, № 1. – P. 1-15.
2. Szegedy C. Going deeper with convolutions / C. Szegedy, W. Liu, Y. Jia, P. Sermanet, S. Reed, D. Anguelov, D. Erhan, V. Vanhoucke, A. Rabinovich // *IEEE conference on computer vision and pattern recognition (CVPR): proc., Boston, 7 – 12 June 2015*. – P. 1–9.
3. Fawaz H.I. InceptionTime: Finding AlexNet for time series classification / H.I. Fawaz, B. Lucas, G. Forestier, C. Pelletier, D.F. Schmidt, J. Weber, G.I. Webb, L. Idoumghar, P.-A. Muller, F. Petitjean // *Data Mining and Knowledge Discovery*. – 2020. – Vol. 34, № 6. – P. 1936-1962.
4. Śmigiel S. ECG Signal Classification Using Deep Learning Techniques Based on the PTB-XL Dataset / S. Śmigiel, K. Palczyński, D. Ledziński // *Entropy*. – 2021. – Vol. 23, № 9. – P. 1-20.
5. Sæther S. Comparing Recurrent Neural Networks for ECG Analysis. – *OsloMet*, 2023. – 61 p.

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МУЛЬТИАГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ АДАПТАЦИИ АГЕНТОВ В СРЕДЕ С САМОВОСПРОИЗВОДИЩИМИСЯ РЕСУРСАМИ

А.А. Ермаков

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина,
г. Елец

Аннотация. В работе рассматривается стохастическая мультиагентная модель, описывающая процессы адаптации агентов в среде с самовоспроизводящимися ресурсами. Предложенный подход объединяет динамику популяции, изменение стратегий агентов и воспроизводство ресурсов в рамках единой теоретической конструкции. Проведён вычислительный эксперимент, демонстрирующий влияние соотношения ресурсов и агентов на формирование доминирующих стратегий. Показано, что система обладает свойствами адаптации и самоорганизации.

Современные сложные системы характеризуются нелинейной динамикой, высокой степенью неопределённости и наличием большого числа взаимодействующих элементов. В существующих исследованиях, как правило, рассматриваются либо процессы эволюции агентов при фиксированной ресурсной базе, либо динамика ресурсов без учета изменяемых стратегий субъектов [1]. Это приводит к ограниченности моделей при описании реальных систем, в которых процессы воспроизводства агентов и самовоспроизводства ресурсов взаимосвязаны и формируют коэволюционную динамику. В связи с этим возникает необходимость разработки моделей, объединяющих динамику популяции, адаптацию агентов и воспроизводство ресурсов в рамках единой теоретической конструкции [2].

Анализ современных подходов показывает, что эволюционные алгоритмы эффективно описывают процессы отбора и изменения популяции [3], однако предполагают статичность среды. Агентно-ориентированные модели позволяют учитывать индивидуальные характеристики агентов и их локальные взаимодействия, но недостаточно полно описывают механизмы воспроизводства ресурсов [4]. Мультиагентные системы сосредоточены на взаимодействии и координации автономных субъектов [5], при этом процессы воспроизводства агентов и ресурсов в них рассматриваются ограниченно. Таким образом, ни один из подходов в отдельности не обеспечивает комплексного описания коэволюционных процессов, что обуславливает необходимость их интеграции [6].

В работе предложена стохастическая мультиагентная модель, в которой система рассматривается в дискретном двумерном пространстве и включает множество агентов и ресурсную среду. Ресурсы обладают стохастическим механизмом регенерации, а агенты характеризуются параметрами, включающими энергию, длину шага, интенсивность воспроизводства, стоимость покоя, число мутаций и пространственное положение. Динамика состояния агента определяется как его собственными характеристиками, так и состоянием локального окружения, что позволяет описывать систему как условно-марковский процесс.

Для исследования поведения системы был проведён вычислительный эксперимент со следующими условиями:

- 1) рассматривается активная область, заданная декартовым пространством координат;
- 2) в начальный момент времени задаётся фиксированное количество агентов, случайно распределённых по пространству, с одинаковыми начальными параметрами;
- 3) ресурсы также распределяются случайным образом, при этом на каждом шаге пустая клетка может стать ресурсом с заданной вероятностью;
- 4) поведение агента определяется локальным соотношением ресурсов и агентов: при достаточном количестве ресурсов агент перемещается к ближайшему ресурсу, в противном случае переходит в состояние покоя;
- 5) движение сопровождается энергетическими затратами, а покой – фиксированными потерями энергии;
- 6) потребление ресурса увеличивает энергию агента, а достижение порогового значения инициирует процесс воспроизводства;
- 7) в модели также реализован механизм мутаций, обеспечивающий изменение параметров агентов;
- 8) эксперимент завершается в момент, когда в системе остаётся одна доминирующая популяция.

Пример одного из экспериментов представлен на рис. 1-2. В рамках эксперимента анализировалась динамика различных стратегий агентов и изменение соотношения между ресурсами и общей численностью популяции. Использовались популяции S, SQ и I, различающиеся параметрами мобильности, воспроизводства и энергетической эффективности. Полученные результаты

позволяют проследить особенности изменения структуры популяции во времени, что отражено в динамике численности различных стратегий агентов, представленной на рис. 1.

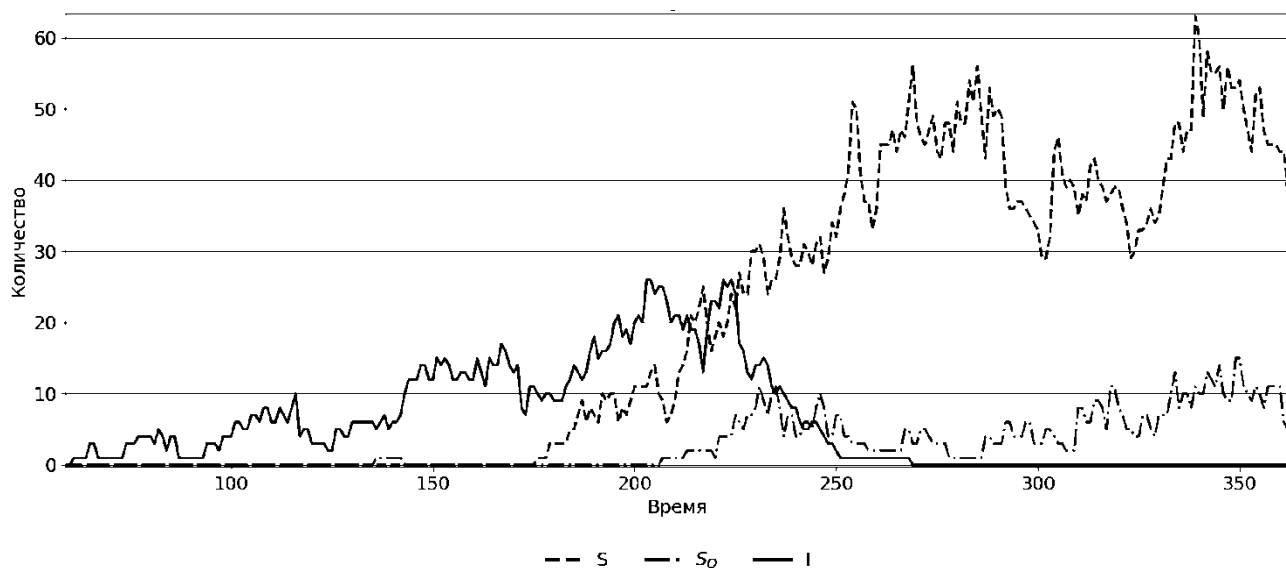


Рис. 1. Динамика численности популяций агентов

Из рис. 1 видно, что на начальном этапе все популяции демонстрируют рост, однако со временем стратегия S начинает доминировать. Популяции S_0 и I постепенно снижают численность и вытесняются более конкурентоспособной стратегией. Подобная динамика свидетельствует о наличии механизма естественного отбора стратегий внутри системы. Для анализа влияния ресурсной среды на формирование стратегий рассмотрим динамику ресурсов и общей численности системы рис. 2.

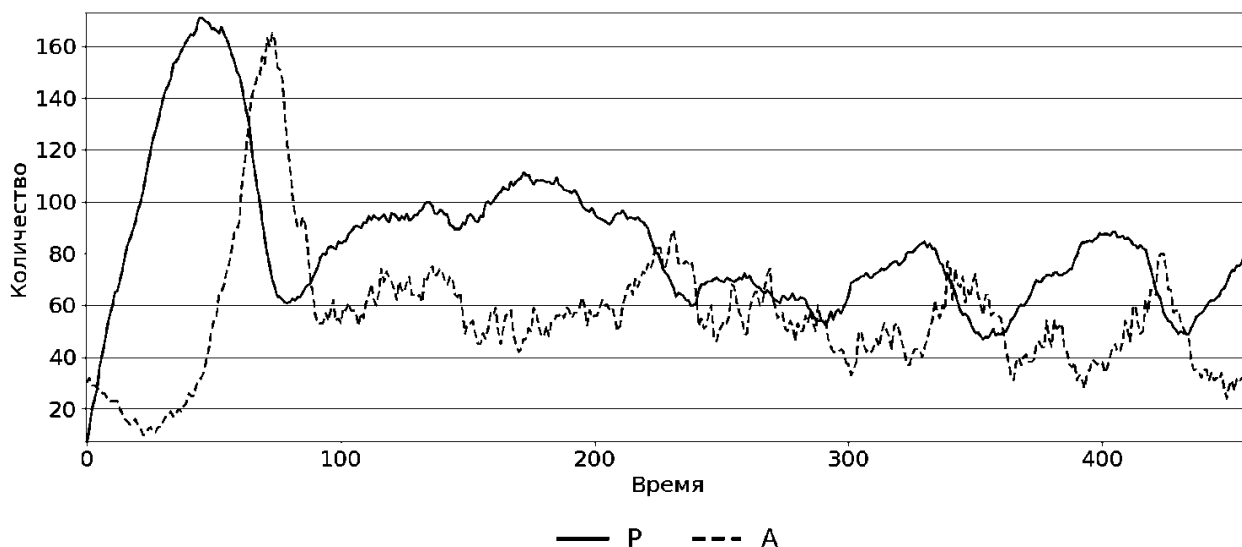


Рис. 2. Динамика количества ресурсов и общей численности агентов

Как видно из рис. 2, после начального переходного периода система выходит на режим устойчивых колебаний. Ресурсы сохраняются на сравнительно высоком уровне и регулярно воспроизводятся. В таких условиях преимущество получают агенты с повышенной мобильностью, поскольку увеличение длины шага позволяет быстрее находить доступные ресурсы.

Таким образом, даже один вычислительный эксперимент показывает, что характер распределения ресурсов оказывает непосредственное влияние на формирование доминирующих стратегий поведения. Полученный результат подтверждает наличие процессов адаптации и самоорганизации в исследуемой мультиагентной системе.

Результаты экспериментов показывают, что динамика системы определяется соотношением количества ресурсов и агентов. В условиях избытка ресурсов преимущество получают агенты с высокой мобильностью, способные быстрее находить ресурсы. В условиях дефицита ресурсов движение становится невыгодным, и доминируют стратегии, направленные на снижение энергетических затрат и увеличение воспроизводства. Наблюдается смена доминирующих стратегий, что свидетельствует о наличии адаптивной стохастической динамики.

Предложенная мультиагентная модель позволяет описывать коэволюцию агентов и ресурсов в рамках единой системы. Показано, что поведение системы определяется соотношением ресурсов и агентов и характеризуется сменой стратегий в зависимости от условий среды. Модель демонстрирует свойства самоорганизации и адаптации, что позволяет рассматривать её как инструмент исследования сложных систем. Полученные результаты могут быть использованы в задачах искусственного интеллекта, экономики и экологии.

Список литературы

1. Баранов Д.А. Исследование эффективности эволюционных алгоритмов в задачах дискретной оптимизации высокой размерности / Д.А. Баранов // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. – 2025. – Т. 13, № 3(50). – С. 1-15. – DOI: 10.26102/2310-6018/2025.50.3.048. – EDN: UGYRCS.
2. Макаров В.Л. Агент-ориентированное моделирование больших социально-экономических систем на основе общей теории функциональных систем П.К. Анохина / В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, Е.Д. Сушко // *Искусственные общества*. – 2022. – Т. 17, № 3.
3. Liu L. A survey of evolutionary algorithms / L. Liu [et al.] // *2023 4th International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Internet of Things Engineering (ICBAIE)*. – Piscataway: IEEE, 2023. – P. 22-27.
4. Абрамов В. И. Агент-ориентированное и имитационное моделирование: перспективы в области информационных технологий / В.И. Абрамов // *Региональные проблемы преобразования экономики*. – 2018. – № 11(97). – С. 386-397.
5. Maldonado D. Multi-agent systems: a survey about its components, framework and workflow / D. Maldonado, E. Cruz, J. Abad Torres, P.J. Cruz, S.Gamboa Benitez // *IEEE Access*. – 2024. – Vol. 12. – P. 80950-80975.
6. Шункевич Д.В. Агентно-ориентированные модели, методика и средства разработки совместимых решателей задач интеллектуальных систем / Д.В. Шункевич, В.В. Голенков // *Программные продукты и системы*. – 2020. – Т. 33. – № 3. – С. 404-412.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОШИБОК БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Г.К. Татаринцев

Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина,
г. Елец

***Аннотация.** Предложена классификация ошибок больших языковых моделей в информационно-решающих системах, основанная на точке входа искажения в контур «данные – модель – оператор – решение». Выделены три группы ошибок, показана их взаимосвязь и определены направления защиты.*

Интеграция больших языковых моделей (LLM) в информационно-решающие системы (ИРС) является устойчивой тенденцией. В отличие от привычного ПО, где ошибка обычно предсказуема, ошибка LLM носит вероятностный характер и способна ввести оператора в заблуждение правдоподобием формы. В сложных человеко-машинных системах [1], такие ошибки могут привести к каскадному искажению управленческих решений.

Целью работы является разработка классификации ошибок LLM, ориентированной на специфику ИРС, где ключевым критерием является не столько техническая природа сбоя, сколько вектор его влияния на когнитивный контур оператора и целостность процесса принятия решений.

Анализ исследований показывает, что большинство классификаций основаны на архитектурной или на симптоматической основе [2-6]. Однако LLM в ИРС функционирует не изолированно, а в рамках контура «источник данных – модель – оператор – решение». В этой схеме ошибка может возникать в разных точках. Соответственно целесообразно классифицировать ошибки по точке вхождения искажения в этот контур.

Исходя из предложенного критерия – точки входа искажения в контур «источник данных – модель – оператор – решение» – все многообразие ошибок LLM в ИРС можно свести к трем укрупненным группам, различающимся как по механизму возникновения, так и по характеру влияния на принимаемое решение. Рассмотрим каждую из них более подробно.

Первая группа состоит из ошибок, где модель, получив корректный запрос и соответствующий контекст, допускает ряд ошибок непосредственно в процессе генерации ответа. К таким ошибкам относятся фактические отклонения и фантазмагии, описанные в [4]. Модель в таком случае может выдавать синтаксически связный, но при этом ложный результат, который создаёт неверное представление о предметной области для оператора. Как показано в [2], паттерны внимания модели при таких ошибках могут быть неотличимы от паттернов при генерации правильного ответа, что делает их обнаружение нетривиальной задачей.

Вторая группа состоит из ошибок, где на вход модели специально поступает некорректный или вредоносный запрос. Такой запрос может содержать скрытые инструкции (Prompt Injection) [3, 5]. В такой ситуации распознать правильную работоспособность модели сложно, она функционирует

в штатном режиме, но при этом выполняет задачу, не предусмотренную правилами ИРС, что влечет за собой нарушение работы контура управления. В промышленных системах на базе RAG, такое внедрение вредоносных инструкций в корпоративную базу знаний, приведет к систематическому искажению выводов руководства.

Третью группу образуют ошибки извлечения нерелевантного контекста в RAG- архитектурах [6]. Модель в данном случае получает на вход верный запрос, но избыточный или сильно искаженный фрагмент данных. Такой ответ, имеющий ложную основу, приводит к тому, что оператор принимает решения, не соответствующие реальной ситуации. Альтернативным подходом к уменьшению таких ошибок является онтологическая контекстуализация запросов [7], при которой семантическая структура определяет границы поиска, а не близость вектора.

Стоит отметить, что выбранные группы ошибок не являются изолированными друг от друга. Модель, подверженная ошибкам первой группы, с большой долей вероятности легче будет подвержена ошибкам второй группы, поскольку ее внутренние состояния менее стабильны. Соответственно, ошибки третьей группы могут спровоцировать ошибки первой группы: получив нерелевантный фрагмент. LLM начинает «додумывать» недостающие связи, и все это ведёт к искажению восприятия полученной информации. Таким образом, надежность ИРС на базе LLM необходимо рассматривать как совокупность трех уровней ошибок, противодействуя им на каждом уровне.

Предлагаемая группировка, позволяет определить уязвимости и систематизировать путь их защиты: обнаружение внутренних состояний модели, лингвистическую фильтрацию входных данных и проверку семантического контекста. Объединение этих механизмов в рамках единого контура управления позволит перейти от разрозненных методов защиты к интегрированной устойчивости ИРС на основе LLM.

Список литературы

1. Брумитейн Ю.М. Модели, методы, технические средства управления рисками проектирования, создания и эксплуатации сложных человеко-машинных систем с учетом психофизиологических характеристик людей-операторов / Ю.М. Брумитейн, Д.А. Молимонов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2019. – № 3(47). – С. 143-162. – EDN XVOSJM.

2. Айсин Т.Р. Детекция галлюцинаций на основе внутренних состояний больших языковых моделей / Т.Р. Айсин, Т.В. Шамардина // Электронные библиотеки. – 2025. – Т. 28, № 6. – С. 1282-1305. – DOI 10.26907/1562-5419-2025-28-6-1282-1305. – EDN UHHGKI.

3. Зырянова И.Н. Prompt injection – проблема лингвистических уязвимостей больших языковых моделей на современном этапе / И.Н. Зырянова, А.С. Чернавский, С.О. Трубочев // Научный результат. Вопросы теоретической и прикладной лингвистики. – 2024. – Т. 10, № 4. – С. 40-52. – DOI 10.18413/2313-8912-2024-10-4-0-3. – EDN JVKAQG.

4. Маджумдер М.Ш. Причины искажения контента: анализ и классификация галлюцинаций в больших языковых моделях GPT / М.Ш. Маджумдер, Д.Д. Бегунова // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2024. – № 3. – С. 32-41. – DOI 10.14357/20718594240303. – EDN KNHVPP.

5. Мударова Р.М. Противодействие атакам типа инъекция подсказок на большие языковые модели / Р.М. Мударова, Д.Е. Намиот // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12, № 5. – С. 39-48. – EDN LVERMB.

6. Полехин А.С. Исследование возможностей LLM и RAG для построения экспертной системы предприятия / А.С. Полехин, Э.Г. Галиаскаров, С.В. Косьмина // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. – 2025. – № 3 (65). – С. 111-118.

7. Ломов П.А. Использование онтологий для контекстуализации запросов к большим языковым моделям / П.А. Ломов // Онтология проектирования. – 2025. – № 2. – С. 239-248. – ISSN 2223-9537.

8. Аверкин А.Н. Объяснимый искусственный интеллект как часть искусственного интеллекта третьего поколения / А.Н. Аверкин // Речевые технологии. – 2023. – № 1. – С. 4-10. – EDN ONAIEY.

9. Диканова А. Персонализация образовательных траекторий студентов в области ит с помощью ии: педагогические и психологические аспекты / А. Диканова, О. Мукамай // Central Asian Scientific Journal. – 2024. – № 5-1(24). – С. 147-160. – EDN CSUPUY.

10. Васильев Ю.А. Применение больших языковых моделей в лучевой диагностике: обзор предметного поля / Ю.А. Васильев, Р.В. Решетников, О.Г. Нанова [и др.] // Digital Diagnostics. – 2025. – Т. 6, № 2. – С. 268-285. – DOI 10.17816/DD678373. – EDN QSANCA.

11. Сорокова М.Г. Применение методов искусственного интеллекта и машинного обучения в психологическом оценивании и анализе детских рисунков: обзор исследований / М.Г. Сорокова, Е.В. Филиппова, М.В. Булыгина, А.С. Алексейчук // Современная зарубежная психология. – 2025. – Т. 14, № 3. – С. 115-127. – DOI 10.17759/jmfp.2025140310. – EDN FYKNIK.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МИНИ-АТЕЛЬЕ В СРЕДЕ ANYLOGIC

А.Е. Ветошникова

Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко,
г. Оренбург

Аннотация. В мини-ателье по индивидуальному пошиву из-за дисбаланса между раскройщиком и швеей возникают очереди, растёт время ожидания и снижается прибыль. Традиционные методы анализа не позволяют учесть случайный характер поступления заказов, приоритет срочных заказов и влияние расписания работы. Для решения этой проблемы разработана имитационная модель в среде AnyLogic как инструмент поддержки управленческих решений. Модель позволяет оценивать различные сценарии работы ателье и находить оптимальные параметры загрузки персонала.

Ключевые слова: имитационное моделирование, AnyLogic, СМО, мини-ателье, оптимизация загрузки, срочные заказы.

Мини-ателье по индивидуальному пошиву представляет собой систему массового обслуживания [1], где заказы поступают случайным образом, имеют разную сложность (простые, средние, сложные) и могут быть срочными. Основная проблема – дисбаланс между раскройщиком и швеей, приводящий к очередям и снижению прибыли.

Цель работы – разработка имитационной модели для оптимизации загрузки персонала и управления портфелем заказов.

Модель

Модель создана в среде AnyLogic с использованием библиотеки Process Modeling Library [2]. Длительность прогона – 720 часов (один календарный месяц). Работа ателье синхронизирована с расписанием (ПН-ПТ, 9:00-17:00).

При поступлении заказа определяются:

- статус срочности (вероятность 20 %);
- тип заказа (простой – 50 %, средний – 30 %, сложный – 20 %);
- время выполнения (случайное из заданных диапазонов);
- цена (базовая цена типа * коэффициент срочности).

Срочные заказы имеют приоритет при обслуживании.

Персонал представлен пулами ресурсов. В нерабочее время поступление заказов блокируется, мастера после завершения текущей операции возвращаются на свои места.



Рис. 1. Укрупненная блок-схема процессов ателье

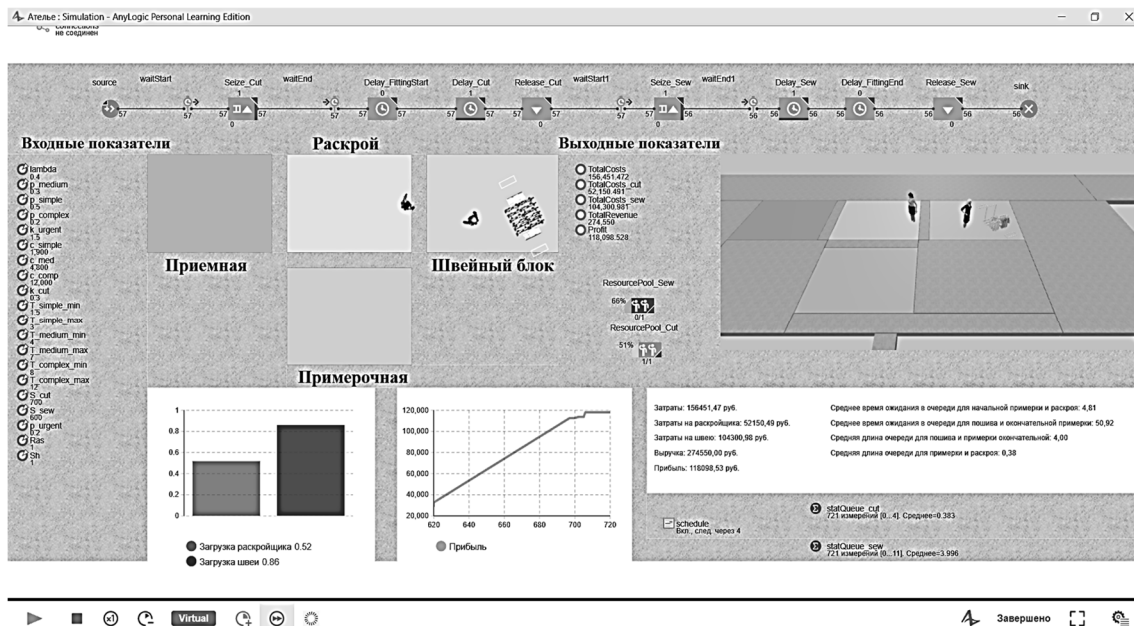


Рис. 2. Интерфейс имитационной модели

Обозначения:

- λ – интенсивность потока (база 0,4 заказа/час)
- p_urgent – доля срочных (база 0,2)
- k_urgent – наценка за срочность (база 1,5 = +50 %)
- k_cut – доля времени на раскрой (база 0,3 = 30 %)
- Ras, Sh – количество раскройщиков и швей (база 1 и 1)

Результаты экспериментов

Базовый прогон выявил дисбаланс: загрузка швеи 86% (выше оптимума 70-80 %), раскройщика 52 % (недогруз), время ожидания к швее 51 час, прибыль 118 тыс. руб. Швея – узкое место.

Эксперимент 1. Увеличение швей до 2. Загрузка швеи упала до 53 % (недогруз), время ожидания сократилось до 6,6 часов. Прибыль выросла на 4,8 тыс. руб., но вторая швея оказалась избыточна при текущем потоке.

Эксперимент 2. Увеличение интенсивности потока до 0,6. Загрузка швеи выросла до 97 %, время ожидания достигло 126 часов, очередь выросла до 19 заказов. Прибыль выросла на 30,4 тыс. руб., но ценой неприемлемого уровня сервиса. Требуется расширение штата.

Эксперимент 3. Повышение наценки за срочность до 100 % ($k_urgent=2,0$). Загрузка и очереди не изменились. Прибыль выросла на 26,5 тыс. руб. за счет удорожания срочных заказов. Эффективный инструмент без нагрузки на персонал.

Эксперимент 4. Увеличение доли срочных заказов до 40 % ($p_urgent=0,4$). Загрузка швеи снизилась до 79% (оптимум), время ожидания сократилось до 33,5 часов. Прибыль практически не изменилась. Вывод: увеличение доли срочных без повышения наценки не дает роста прибыли.

Эксперимент 5. Перераспределение времени в пользу раскройщика ($k_cut=0,4$). Загрузка швеи снизилась до 74 % (оптимум), время ожидания сократилось до 10 часов, очередь уменьшилась до 0,65 заказа. Загрузка

раскройщика выросла с 52 % до 61 %. Прибыль выросла на 28,6 тыс. руб. Лучший способ балансировки без найма новых сотрудников.

Эксперимент 6. Повышение цен на все заказы на 30 %. Загрузка и очереди не изменились. Прибыль выросла на 82,4 тыс. руб. Самый эффективный инструмент роста прибыли.

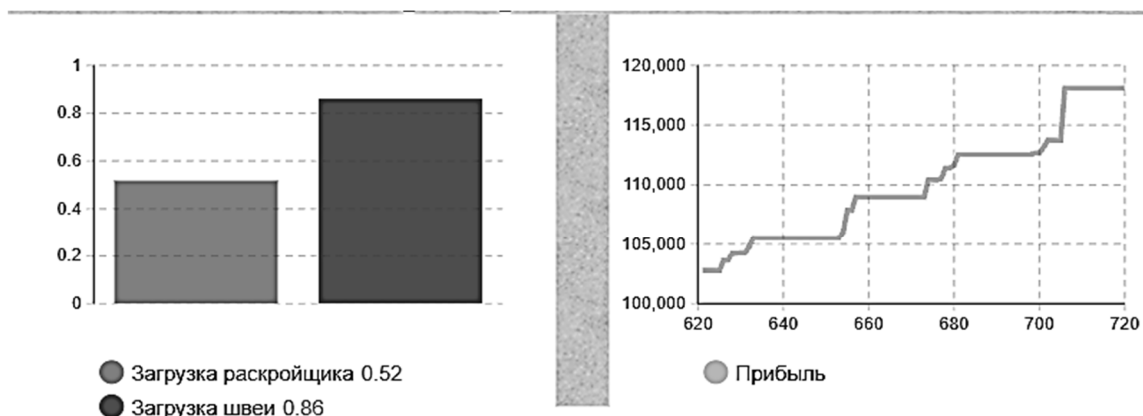


Рис. 3. График загрузки и прибыли при базовом прогоне

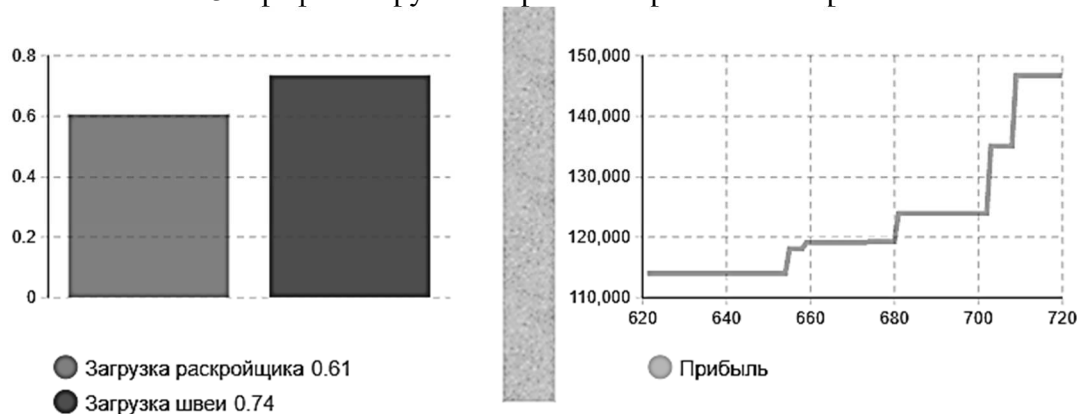


Рис. 4. График загрузки и прибыли $k_{\text{cut}}=0,4$

Выводы и рекомендации

Проведенные эксперименты показывают, что основная проблема – перегрузка швей – может быть решена несколькими способами. Увеличение штата швей при текущем потоке экономически нецелесообразно. Наиболее эффективными инструментами являются: перераспределение нагрузки в пользу раскройщика ($k_{\text{cut}}=0,4$), повышение наценки за срочность до 100 % и увеличение базовых цен на 30%. Рекомендуется применять эти меры в комплексе, что позволяет сбалансировать нагрузку персонала и существенно увеличить прибыль без найма новых сотрудников.

Список литературы

1. Карташевский В.Г. Основы теории массового обслуживания: учебное пособие / В.Г. Карташевский. – Самара: ПГУТИ, 2021. – 148 с.
2. Цыганова И.А. Имитационное моделирование информационных систем: методические указания / И.А. Цыганова. – Оренбург: ОГУ, 2024. – 38 с.

МОДИФИКАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ВЕБ-СЕРВИСА «ACTIVE TEMPLATE» С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ UX/UI-ДИЗАЙНА

Т.А. Галаган, Н.Е. Марков
Амурский государственный университет,
г. Благовещенск

***Аннотация.** В работе изложена стратегия применения методов UX/UI-дизайна для образовательного веб-сервиса с целью его адаптации к современным требованиям. UX (пользовательский опыт) отвечает за функциональную часть, UI (визуальная часть) служит для обеспечения комфорта и вовлеченности пользователя. Общими для обоих подходов являются: фокусирование на потребностях пользователя, простота интерфейса, качественная обратная связь.*

Современное образование невозможно представить без использования информационных технологий, которые превращают традиционные формы обучения в более гибкие. Использование цифровых образовательных платформ и разнообразных интерактивных сред позволяет дополнить процесс обучения дополнительными элементами, повышающими заинтересованность в обучении, применять игровые формы обучения в совершенно неигровой контекст. Такие инструменты геймификации, как рейтинги, поощрения, прохождение уровней позволяют педагогам не только удерживать обучающихся в учебном процессе, но и мотивировать их к процессу обучения с максимальной вовлеченностью.

Расширение сферы онлайн-образования, в том числе и в рамках самообразования, повышает уровень требований не только к наполнению используемого цифрового образовательного ресурса, но и к качеству взаимодействия пользователя с представленным материалом.

Потеря интереса пользователей к наполнению образовательного ресурса зачастую является следствием недостатка наглядности прогресса, системы разработанных поощрений, а также плохой обратной связи. Улучшить эти характеристики возможно повышением качества UX/UI-дизайна (User Experience отвечает за удобство, логичность и мотивацию к действию, User Interface обеспечивает визуализацию). Составляющие данного подхода к разработке и модификации цифровой образовательной платформы не противопоставляются, а дополняют друг друга [1].

Первоначально разработанный веб-сервис «ActiveTemplate», принципы разработки которого изложены в [2], позволял зарегистрированному пользователю иметь доступ к личному кабинету, создавать интерактивные задания на основе шаблонов; распространять их для обучающихся; сохранять результаты прохождения заданий; просматривать статистику их выполнения.

Проведённый анализ исходного состояния приложения выявил ряд недостатков: отсутствие систематизации в структуре профиля пользователя, наличие слабой обратной связи, полное отсутствие механизмов мотивации, недостаточная производительность при работе с объёмными данными.

Для устранения указанных недостатков была разработана стратегия модификации веб-сервиса, включающая не только изменения архитектуры за

счет дополнения новыми сервисами, но и улучшение внешнего вида оформлением нескольких вариантов цветовой палитры, введения возможностей изменения контрастности, настройки элементов самовыражения (UI-дизайна), а также упрощение навигации, логики, повышение мотивации (UX-дизайна).

Механизмы повышения пользовательского опыта и повышения мотивации использования веб-сервиса после его модификации представлены на рисунке.



Механизмы повышения мотивации использования веб-сервиса

Для реализации обратной связи внедрена комплексная система геймификации (уровни, достижения, ежедневные серии, уведомления с анимацией).

Для обеспечения пользовательского опыта на устройствах с различными размерами экранов реализована система адаптивного дизайна на основе современных возможностей языка CSS без привлечения сторонних UI-фреймворков; подобраны размеры пиктограмм и размер шрифта.

Применении методов UX/UI-дизайна в рамках модификации существующего веб-приложения позволило улучшить его технические характеристики – выполнить оптимизацию производительности и навигации, повысить простоту восприятия пользователем информации на устройствах различных размеров; совмещая их с психологически обоснованными механизмами мотивации, включающими элементы геймификации и обратной связи.

Список литературы

1. Агеева А.Д. Дизайн интерфейсов (UI) и пользовательский опыт (UX) / А.Д. Агеева, Л.Э. Петросян // Вестник науки, 2024. – №6 (75). – Т. 1. – С. 1354-1366. <https://www.вестник-науки.pf/article/15342>.
2. Марков Н.Е. Особенности разработки образовательного веб-сервиса «ActiveTemplate» // Н.Е. Марков, Т.А. Галаган Современное программирование: материалы VI Международной научно-практической конференции (г. Нижневартовск, 09-11 декабря 2024 года). – Нижневартовск: Нижневартовский гос. ун-т. 2025. – С. 362-367.

МЕТОДИКА РЕГУЛИРОВАНИЯ РИСКА КИБЕРАТАК НА ОСНОВЕ БИНОМИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТИВНЫХ ОЦЕНОК УЯЗВИМОСТЕЙ

Н.С. Харламов

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина,
г. Елец

***Аннотация.** В работе представлен начальный этап построения методики регулирования риска кибератак на основе биномиального распределения. Обоснована целесообразность использования биномиального распределения для моделирования серий атак через одну рассматриваемую уязвимость. Рассматривается подход, в рамках которого процесс реализации атак моделируется серией независимых испытаний с двумя исходами. Выполнен анализ параметров модели. Для объективной оценки уязвимостей и их дальнейшего агрегирования рассматривается использование нормализованных и среднеквадратичных агрегированных оценок из калькуляторов CVSS, EPSS, OWASP. Показано, что единственным регулируемым параметром для специалиста по информационной безопасности является вероятность успешной реализации атаки, которая может быть изменена за счёт проведения организационных и технических мероприятий. Представленные результаты формируют основу для последующего построения процедуры регулирования риска, включающей выбор оптимального набора мер защиты.*

Введение. Современные исследования в области управления рисками информационной безопасности направлены на разработку количественных методов оценки и регулирования риска кибератак. Однако остаются нерешенными ключевые проблемы, связанные с выбором параметров модели риска и определением тех параметров, на которые специалист по информационной безопасности может оказать воздействие.

Определение и обоснование основного регулируемого параметра биномиального распределения. Инвариант суммы рисков, равный математическому ожиданию ущерба, означает, что при любых перестановках вероятностей и значений ущерба суммарный ожидаемый риск остается неизменным и равным единице. При защите отдельного актива попытки снижения вероятности атаки на него могут привести к переключению внимания нарушителя на другой актив, являющийся менее защищенным. Укрепление одних зон, сопровождающееся приложением усилий по снижению риска в других диапазонах величин ущерба, приводит к росту уровня риска в других диапазонах.

Биномиальное распределение применяется для описания атак, реализация которых имеет два исхода (успех/неудача). Также их можно рассматривать, как серию одинаковых атак через единственную уязвимость [1-2]. Расчет вероятности наступления ущерба осуществляется согласно (1):

$$P(x, n, p) = C_n^x p^x (1 - p)^{n-x}, \quad x = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где x – число успехов;

n – количество совершенных атак;

p – вероятность успешности реализации атаки.

Число успехов представляет собой случайную величину, определяющую сколько раз произошло событие «успех» в серии из n независимых испытаний. При обеспечении кибербезопасности данный параметр определяет число успехов при совершении атак в количестве n .

Количество совершенных атак n – фиксированная величина, определяемая исключительно действиями злоумышленника. Он самостоятельно принимает все решения: о факте атак, их количестве, времени, цели и интенсивности. Помимо этого, при построении модели риска мы моделируем гипотетическое поведение злоумышленника, что представляет значимость для сценарного анализа риска и определения устойчивости системы. Таким образом ввиду того, что число успехов является случайной величиной, а количество совершенных атак – параметр, зависящий от злоумышленника, можно заключить, что на данные параметры специалист по ИБ повлиять не может [1-2].

Определение критической вероятности $p_{кр}$, при которой риск в заданном диапазоне ущерба не превышает заданного уровня, позволяет выявить пороговое значение, до которого необходимо снизить исходную вероятность. Если атака направлена на нарушение работы оборудования, кражи данных, НСД, то само снижение вероятности осуществляется за счёт проведения организационных и технических мероприятий. Если же атака носит социальный характер (фишинг), то есть направлена на человека, на побуждение его к каким-то действиям, то необходимо проводить мероприятия, направленные на повышение осведомленности сотрудников и соответствующее уменьшение вероятности.

При расчете риска также необходимо учитывать уязвимость, через которую будет реализована угроза. Для анализа уязвимостей используются различные метрики. Однако в контексте обеспечения информационной безопасности целесообразно рассматривать несколько механизмов документирования и оценки, позволяющих получить среднюю оценку на их основе. Таковыми инструментами являются калькуляторы CVSS, EPSS, OWASP, поскольку в отличие от иных аналогов они не являются узкоспециализированными. Более того, они имеют понятный и удобный для пользователя интерфейс, позволяющий осуществить расчет необходимой оценки [3].

Исходными данными для получения финальной оценки являются оценки критичности из калькуляторов CVSS 3.1, CVSS 4.0, EPSS, OWASP. Результаты работы этих калькуляторов основаны на группе метрик, которые остаются неизменными с течением времени. Далее необходимо произвести ряд следующих действий [3]:

1) нормализация оценок по формуле (2):

$$S_{norm} = \frac{S - S_{min}}{S_{max} - S_{min}}, \quad (2)$$

где S_{norm} – нормализованная оценка;

S_{min} – минимальная оценка в калькуляторе;

S_{max} – максимальная оценка в калькуляторе.

2) расчет среднеквадратичной оценки по формуле (3):

$$S_{final} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{norm.i}^2}, \quad (3)$$

где S_{final} – среднеквадратическая оценка.

Таким образом, мы получаем среднеквадратичную оценку. Её целесообразно рассматривать, поскольку данный метод учитывает вариативность исходных данных и влияние экстремальных значений.

При использовании биномиального распределения рассматривается ситуация использования серии одинаковых кибератак через одну уязвимость, но сценарии осуществления могут варьироваться в зависимости от используемой уязвимости среди возможного перечня уязвимостей, поскольку пары «вид атаки – эксплуатируемая уязвимость» формируются следующим образом:

- на основе классификации CAPEC или MITRE идентифицируется i -й вид атаки;
- на основе базы CAPEC и классификации CWE определяются ошибки, которые могут быть эксплуатированы i -м видом атаки;
- на основе базы CVE определяем уязвимости, которые соответствуют программным ошибкам;
- с помощью ресурса CISA CEV производим выборку наиболее актуальных уязвимостей;
- определение уязвимостей, характерных, для защищаемой системы, объекта, актива [4-6].

Исходя из указанных сценариев можно сделать вывод, что одной программной ошибке может соответствовать несколько уязвимостей. На основе суммы среднеквадратических оценок и среднеквадратической оценки конкретной эксплуатируемой уязвимости получаем вероятность эксплуатации единичной уязвимости p_{cve} по формуле (4):

$$p_{cve} = \frac{S_{final}}{\sum_{i=1}^M S_{final}}, \quad (4)$$

При расчете риска успешности реализации кибератаки целесообразно рассматривать связи: CAPEC-CWE-CVE. Это позволит оценить, насколько реалистично, что шаблон CAPEC будет использован в конкретной системе с успешным результатом.

Использование базы CAPEC для оценки риска атак позволяет перейти от оценки отдельных уязвимостей, связок CWE-CVE, к анализу шаблонов атак, отражающих поведение атакующего. База данных CAPEC позволяет обеспечить уровень обобщения, необходимый для стратегического управления рисками. Она ориентирована на тактико-технические сценарии и позволяет оценивать не только наличие уязвимости, но и вероятность её практической реализации.

Переход от шаблона атаки CAPEC к категории уязвимостей CWE позволяет связать обобщенные сценарии атак с конкретными техническими слабыми местами, которые могут быть реализованы в инфраструктуре. При

рассмотрении конкретного CWE становится рассматривать связанные с ним CVE.

Для оценки вероятности успешной реализации шаблона CAPEC целесообразно использовать среднее значение EPSS для всех связанных с CWE CVE. Оценка EPSS – это вероятность того, что уязвимость действительно будет эксплуатироваться в реальности. Она дает динамическую оценку на основе реальных данных об объективности атак и подчеркивает факт эксплуатации. Её целесообразно использовать ввиду того, что оценка CVSS v3.1, CVSS v4.0 позволяет оценивать ущерб и технические характеристики, а оценка OWASP зависит от человека и контекста и является субъективной экспертной оценкой. Отсюда получаем, что оценка EPSS – объективный индикатор «живости» шаблона атаки [7]. Тогда для оценки вероятности успешной реализации шаблона CAPEC можно использовать формулу (5):

$$p_{\text{capec}} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M EPSS(CVE_i), \quad (5)$$

где M – количество CVE, связанных с шаблоном CAPEC через конкретный CWE, $EPSS(CVE_i)$ – значение EPSS для каждой уязвимости.

Ни на p_{capec} , ни на p_{cve} специалист по ИБ повлиять не может, поскольку эти вероятности получается на основе статистических данных. Отсюда получаем, что единственный параметр, на который может повлиять специалист по ИБ является исходная вероятность успешности реализации атаки p_y , регулируемая за счет проведения организационных и технических мероприятий по защите информации. Результирующая вероятность успешности реализации кибератаки представляет собой величину, включающую в себя три составляющие p_{capec} , p_{cve} , p_y .

Заключение. В данной работе рассмотрены начальные этапы построения методики регулирования риска кибератак на основе биномиального распределения. Результаты демонстрируют, что единственный параметр, на который может повлиять специалист по ИБ является вероятность успешности реализации атаки. Среди перспективных направлений развития работы можно отметить построение полноценной процедуры регулирования риска, включающей выбор оптимального набора организационных и технических мер защиты, а также разработку критериев принятия решений по снижению риска до приемлемого уровня.

Список литературы

1. Остапенко А.А. Оценка критичности уязвимостей с использованием данных множества риск-калькуляторов / А.А. Остапенко, В.П. Шелякин, Е.С. Короткова, А.С. Кривошеин, Д.А. Мальцева, П.А. Меркулов, Н.Д. Никитин, М.О. Титаренко // *Информация и безопасность*. – 2024. – Т. 27. – Вып. 4. – С. 521-542.

2. Остапенко Г.А. Оценка рисков защищенности компьютерных систем для биномиального дискретного распределения вероятностей ущерба / Г.А. Остапенко, О.А. Казьмин, Е.В. Субботина, В.И. Неверко // *Информация и безопасность*. – 2006. – №1 – С. 86-91.

3. Пахомова А.С. Метод управления риском информационной безопасности в условиях ведения компьютерной разведки на основе модели жизнеспособности системы / А.С. Пахомова // *Информация и безопасность*. – 2016. – №1 – С. 122-125.

4. Остапенко А.Г. Исследование возможностей регулирования рисков автоматизированных систем при защите от атак типа «Отказ в обслуживании» / А.Г. Остапенко, С.А. Тишков // *Информация и безопасность*. – 2009. – №1 – С. 25-38.

5. Попова Е.В. Возможные стратегии управления информационными рисками в автоматизированных системах при заданном количестве атак и их успехов / Е.В. Попова, А.Г. Остапенко // *Информация и безопасность*. – 2007. – №3 – С. 451-456.

6. Казьмин О.А. Исследование риска и защищенности систем для биномиального распределения ущерба / О.А. Казьмин, А.Г. Остапенко // *Информация и безопасность*. – 2007. – №3 – С. 495-498.

7. Кулаков В.Г. Стохастические модели и возможные стратегии информационно-управляющих воздействий в социотехнических системах / В.Г. Кулаков, В.Г. Кобяшев, А.Г. Юрочкин, Г.А. Остапенко // *Информация и безопасность*. – 2006. – №1 – С. 18-20.

РОЛЬ ГОСУДАРСТВЕННЫХ БЮДЖЕТНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ В СИСТЕМЕ СОВРЕМЕННОЙ КАДАСТРОВОЙ ОЦЕНКИ

А.С. Хохрякова, Н.В. Осокина

Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова,
г. Пермь

Аннотация. В статье рассматривается эволюция государственных бюджетных учреждений (ГБУ) как ключевого субъекта кадастровой оценки в РФ. Рассмотрены изменение их роли при переходе от частных оценщиков к государственной системе, разграничение полномочий, проблема административной нагрузки и механизмы обеспечения достоверности результатов. Обоснована концепция ГБУ как «фильтра качества», выявлены противоречия между бюджетным финансированием и требованием высокой квалификации специалистов.

Ключевые слова: государственная кадастровая оценка, ГБУ, кадастровая стоимость, массовая оценка недвижимости, налоговое администрирование.

Введение. За последнее десятилетие система определения кадастровой стоимости в России перешла от коммерческих оценщиков к государственным бюджетным учреждениям (ФЗ № 237-ФЗ, 2016 г.) [1]. Предполагалось, что отсутствие коммерческой заинтересованности повысит объективность налогообложения. Однако практика показала: ГБУ решили проблему разнородности методик, но породили бюрократизацию, унификацию в ущерб уникальным объектам и рост судебных издержек граждан [3]. Цель работы –

определение оптимальной модели участия ГБУ, балансирующей фискальные интересы и права правообладателей.

Основные результаты и обсуждения.

1. Функциональная архитектура ГБУ. Согласно ст. 6 Закона № 237-ФЗ, ГБУ наделены исключительным правом на определение кадастровой стоимости и выполняют четыре функции [1]:

- методологическая (разработка методик массовой оценки);
- информационная (аккумулирование данных из ЕГРН, БТИ, ресурсоснабжающих организаций);
- аналитическая (проверка данных, исправление ошибок);
- экспертно-консультативная (участие в комиссиях по спорам).

Ключевое отличие ГБУ – принцип неограниченной ответственности государства. Однако на практике судебные иски о взыскании убытков редки и заканчиваются мировыми соглашениями, что снижает стимулы к минимизации ошибок [5].

2. Экономическая эффективность и бюджетная смета. ГБУ работают в рамках госзадания, финансируемого из бюджета субъекта РФ. Это порождает конфликт: массовая оценка требует постоянного мониторинга рынка и высокой зарплаты оценщиков. За 2020-2024 гг. средняя численность отдела оценки – 7-12 человек на 1 млн объектов [4]. Это ведет к шаблонным кластерам и игнорированию локальных аномалий. Роль ГБУ как «снижателя издержек» для бюджета оборачивается ростом трансакционных издержек для правообладателей (судебные экспертизы, повторные оценки) [3].

3. ГБУ как арбитр качества данных. Позитивный аспект деятельности ГБУ: системная «чистка» ЕГРН. ГБУ выявляют реестровые ошибки (площадь, материал стен, износ) и инициируют их исправление. В Московской области и Татарстане автоматизированная сверка данных Росреестра и БТИ сократила число ошибочных решений на 18-22 % [4].

Проблема: отсутствие полномочий по пересмотру индивидуальной стоимости уникальных объектов (исторические здания с обременениями). Роль ГБУ здесь сводится к формальной проверке цифр без учета экономической сути [3].

4. Юридическая ответственность ГБУ. Ст. 24 Закона № 237-ФЗ обязывает ГБУ определять стоимость по методикам, но санкций за некачественную оценку (кроме дисциплинарных) не предусмотрено [1].

Возмещение убытков требует доказательства умысла или грубой неосторожности при отсутствии коммерческого мотива [5]. Текущая роль ГБУ ближе к «административному процессору», чем к «независимому эксперту», что снижает доверие малого и среднего бизнеса [3].

Выводы и предложения.

- Необходимо обязательное страхование профессиональной ответственности ГБУ (по аналогии с ФЗ № 135-ФЗ) с созданием страхового фонда [2,5].
- Внедрить внутренний аудит с привлечением аккредитованных оценщиков, не состоящих в штате ГБУ [4].

- Оптимизировать штатные нормативы: перейти от учета «количества объектов» к «категории сложности» (коэффициенты для исторической застройки, уникальных сооружений).

Заключение. ГБУ стали центральным звеном системы кадастровой оценки, обеспечив унификацию методик и централизацию данных [1,4]. Но монополизация снизила адаптивность: массовые модели не учитывают рыночные аномалии, а бюджетное финансирование ограничивает привлечение квалифицированных кадров [3]. Ключевая проблема – асимметрия ответственности. Наиболее выгодным будет являться гибридная модель: за ГБУ – оценка типовых объектов, сложные и уникальные объекты – на аутсорсинг аккредитованным частным оценщикам с застрахованной ответственностью [2,5].

Список литературы

1. ФЗ от 03.07.2016 № 237-ФЗ «О государственной кадастровой оценке».
2. ФЗ от 29.07.1998 № 135-ФЗ «Об оценочной деятельности в РФ».
3. Левкина Е.В. Государственные бюджетные учреждения как новый субъект кадастровой оценки / Е.В. Левкина // Имущественные отношения в РФ. – 2022. – № 3.
4. Севостьянов А.В. Трансформация института государственной кадастровой оценки / А.В. Севостьянов, Н.Н. Петрова // Вопросы государственного и муниципального управления. – 2023. – № 1.
5. Смирнов Д.А. Ответственность ГБУ за достоверность кадастровой стоимости / Д.А. Смирнов // Арбитражные споры. – 2024. – № 2.

PYTHON-МОДЕЛЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ КЛИЕНТОВ АВТОСЕРВИСА ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ РЕМОНТА

Е.Б. Жолдыбаева

Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко,
г. Оренбург

Аннотация. В статье представлена имитационная Python-модель системы массового обслуживания автосервиса, разработанная с использованием принципов дискретно-событийного моделирования. Описаны архитектура программного комплекса, алгоритм функционирования модели и графический интерфейс пользователя. Приведены результаты серии вычислительных экспериментов с различными конфигурациями кадрового состава и зоны ожидания. Сформулированы практические рекомендации по оптимизации работы автосервиса.

Ключевые слова: имитационное моделирование, система массового обслуживания, автосервис, Python, дискретно-событийное моделирование, оптимизация очереди.

Рост числа автомобилей в России и во всём мире неизбежно увеличивает нагрузку на станции технического обслуживания и автомастерские. Случайный характер поступления клиентов в сочетании с существенными различиями в длительности ремонтных операций приводит к образованию очередей, снижению пропускной способности предприятий и ухудшению качества

сервиса. Ручной подбор оптимального числа мастеров и размера зоны ожидания без инструментальной поддержки практически невозможен ввиду стохастической природы процессов.

Перечисленные проблемы делают актуальным применение имитационного моделирования – подхода, позволяющего воспроизводить работу системы в виртуальной среде, учитывать случайные факторы и исследовать поведение системы при различных конфигурациях параметров без остановки реального производства.

Цель работы – разработка и исследование Python-модели системы обслуживания клиентов автосервиса, обеспечивающей минимизацию времени ожидания и поддержку принятия управленческих решений по оптимизации кадрового состава и организации зоны ожидания.

Автосервис рассматривается как система массового обслуживания (СМО), в которой входной поток клиентов поступает случайным образом. Каждый клиент обращается за выполнением одного из пяти видов работ: ремонт двигателя, кузовные работы, обслуживание трансмиссии (КПП), замена технических жидкостей или диагностика ходовой части. Нормативное время каждого вида работ фиксировано и хранится в справочнике параметров модели.

Формализованная модель системы описывается следующими компонентами:

- входной поток заявок – клиенты, прибывающие в систему с интенсивностью λ (среднее число автомобилей в единицу времени);
- очередь – зона ожидания ограниченной вместимости (параметр L); при переполнении очереди новая заявка получает отказ;
- обслуживающие ресурсы – мастера (рабочие посты) в количестве s ; каждый мастер в единицу времени обслуживает одну заявку;
- дисциплина обслуживания – FIFO (первым пришёл – первым обслужен).

Ключевые события системы, фиксируемые в ходе моделирования: прибытие клиента, постановка автомобиля в очередь, начало обслуживания (переход от ожидания к мастеру), завершение работ и освобождение рабочего поста.

Процесс обслуживания каждого автомобиля формализован в виде последовательности четырёх этапов. На первом этапе при переходе заявки из очереди к свободному мастеру система считывает тип требуемой услуги и назначает нормативное время из справочника. На втором этапе мастер блокируется – переходит в статус «Занят», рассчитывается прогнозное время завершения работ, и весь этот период мастер недоступен для других заявок. Третий этап – имитация технологического процесса дискретными шагами по 5 минут; на каждом шаге интерфейс обновляет полосу прогресса конкретного мастера. На четвёртом этапе автомобиль считается обслуженным, данные записываются в отчёт смены, а мастер мгновенно переключается на следующую заявку из очереди. Такая детализация позволяет учесть специфику загрузки постов: ремонт двигателя (120 мин) блокирует пост значительно дольше, чем замена технических жидкостей (30 мин), что напрямую влияет на рост очереди.

Показатели эффективности, анализируемые по результатам моделирова-

ния: количество обслуженных автомобилей, число отказов, коэффициент загрузки мастеров (отношение фактически отработанного времени к общему рабочему фонду смены), а также суммарная выручка.

Программный комплекс разработан на Python 3.10 с применением парадигмы объектно-ориентированного программирования. Архитектура разделена на три независимых уровня: модуль бизнес-логики имитации, графический интерфейс пользователя (GUI) и модуль аналитической обработки данных. Такое разделение обеспечивает масштабируемость системы и возможность замены любого уровня без переработки остальных.

Центральным элементом модели является класс *Mechanic*, инкапсулирующий атрибуты состояния рабочего поста: идентификатор, тип выполняемой задачи, время завершения операции и накопленное время занятости. Класс *ShiftReport* агрегирует итоговые показатели смены: количество обслуженных заявок, число отказов, выручку и средневзвешенный коэффициент загрузки персонала.

Для построения графического интерфейса используется библиотека Tkinter. Рабочее окно разделено на три функциональные зоны: панель ввода параметров (левая), динамический холст анимации (центральная) и информационная панель итогов (правая). Визуализация результатов – гистограммы и круговые диаграммы – реализована средствами библиотеки Matplotlib.

Алгоритм базируется на методе дискретно-событийного моделирования. Восьмичасовая рабочая смена (480 минут) воспроизводится в цикле с фиксированным временным шагом в 5 минут. На каждом шаге выполняется следующая последовательность действий:

1. Генерация входящего потока. Псевдослучайный генератор модуля *random* определяет, прибывает ли новый клиент на текущем шаге.

2. Управление очередью. Если размер очереди не превышает лимит *L*, заявка принимается и помещается в список ожидания по дисциплине FIFO; иначе фиксируется отказ.

3. Назначение заявок. Для каждого свободного мастера из очереди извлекается первая заявка; рассчитывается прогнозируемое время завершения работ; счётчик занятости мастера инкрементируется.

4. Проверка завершения работ. Если системный таймер достиг расчётного времени окончания операции, мастер переходит в статус «Свободен», результат записывается в *ShiftReport*.

5. Обновление визуализации. Интерфейс перерисовывает полосы прогресса мастеров и счётчики статистики.

По завершении смены запускается модуль статистической обработки: рассчитывается коэффициент загрузки как отношение суммарного времени занятости мастеров к их общему рабочему фонду. Результат сопоставляется с целевым порогом 80 %, который принят за точку оптимального баланса между рентабельностью и предотвращением перегрузки персонала.

Панель ввода параметров позволяет задавать численность штата механиков, предельную вместимость очереди и нормативное время каждого из пяти видов работ. Кнопка «Начать смену» запускает вычислительный цикл имитации.

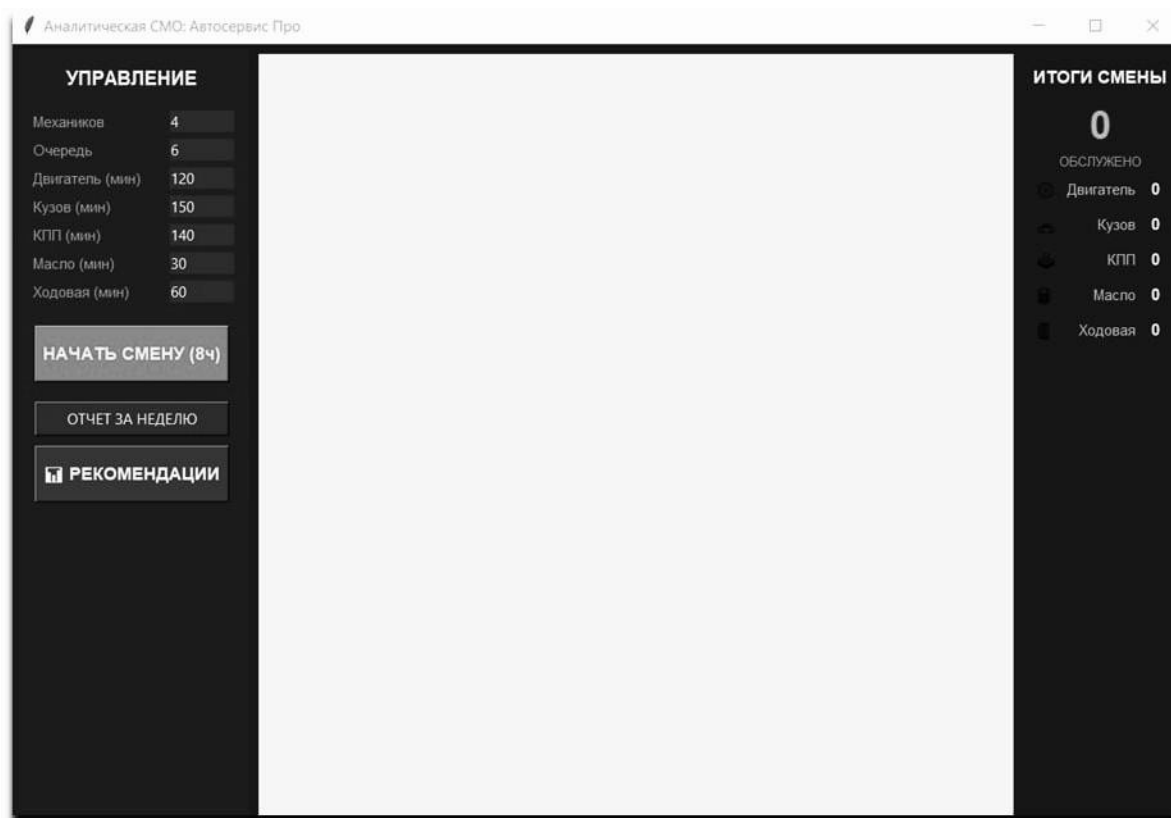


Рис. 1. Главное окно программы имитационного моделирования

Центральный холст отображает движение автомобилей в очереди и активность рабочих постов в режиме реального времени. Каждый тип операции выделен цветом: красный – ремонт двигателя, жёлтый – кузовные работы, фиолетовый – КПП, зелёный – замена технических жидкостей, синий – ходовая часть. При выполнении работ на холсте отрисовывается полоса прогресса, позволяющая визуальнo выявлять простои и перегрузки.

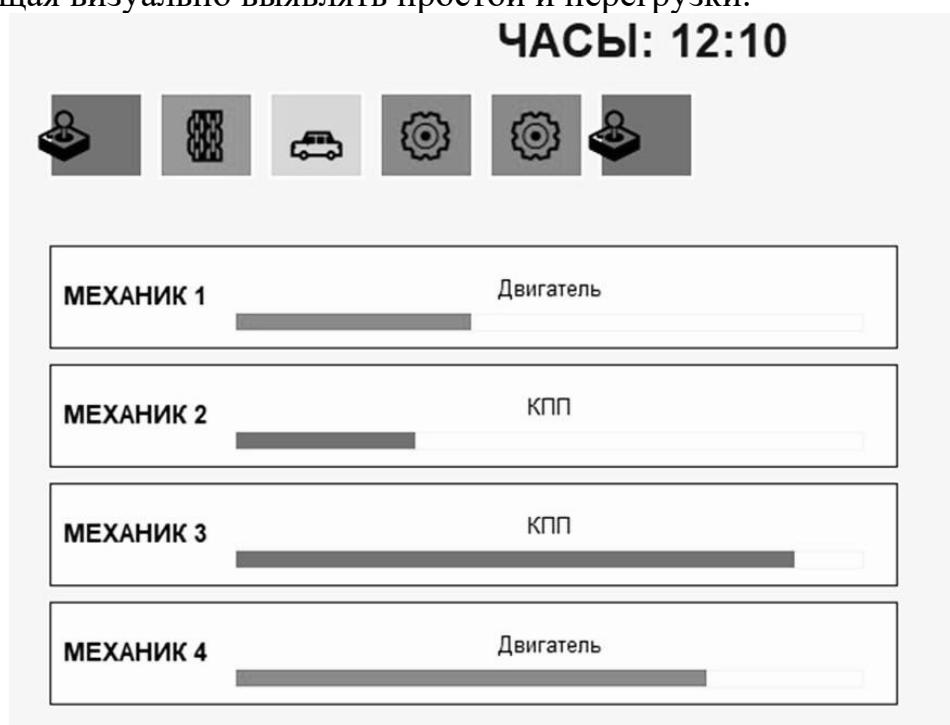


Рис. 2. Область анимационного отображения процесса обслуживания

Модуль «Отчёт за неделю» агрегирует показатели всех завершённых смен и строит столбчатые диаграммы динамики нагрузки относительно порога 80 %, а также круговые диаграммы структуры выполненных заказов по типам работ. Модуль «Рекомендации по оптимизации» автоматически вычисляет оптимальное количество механиков и глубину очереди, минимизирующее отклонение фактической загрузки от эталонных 80 %, и предлагает применить найденную конфигурацию.

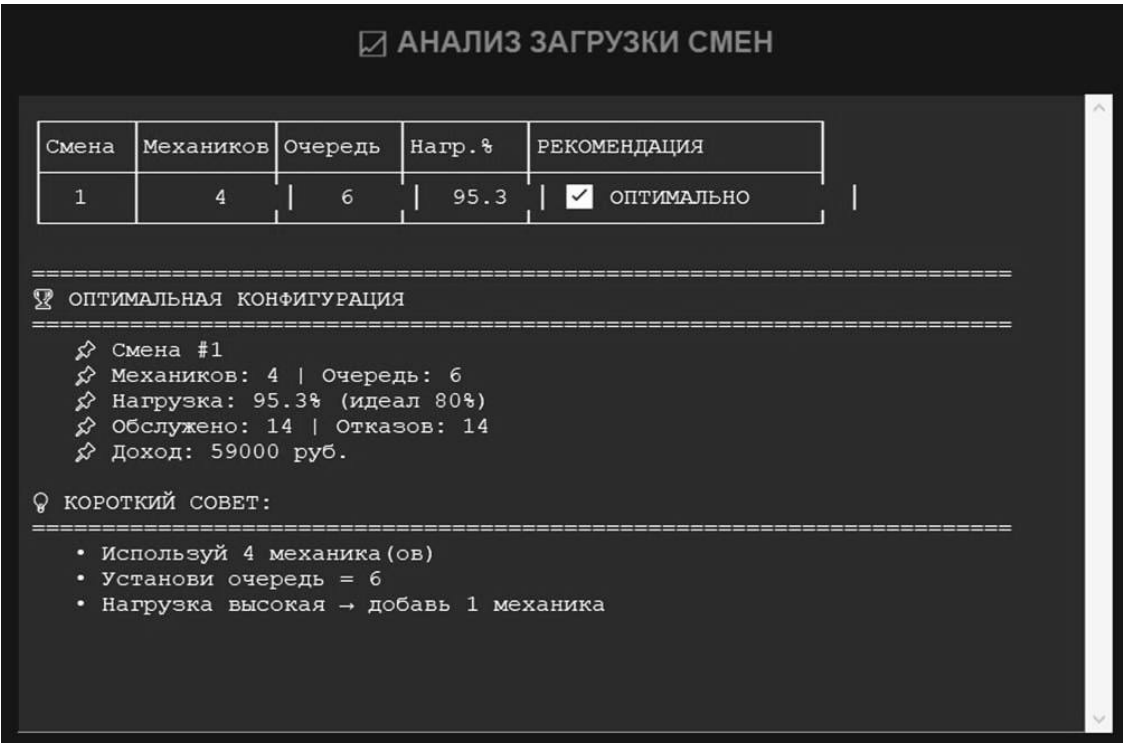


Рис. 3. Итоги смены и модуль рекомендаций по оптимизации

Для оценки чувствительности системы к изменению конфигурации ресурсов проведена серия из пяти вычислительных экспериментов. Во всех экспериментах продолжительность моделирования составляла 480 минут (одна рабочая смена), нормативы времени операций оставались неизменными. Варьируемые параметры — количество механиков s и максимальная длина очереди L .

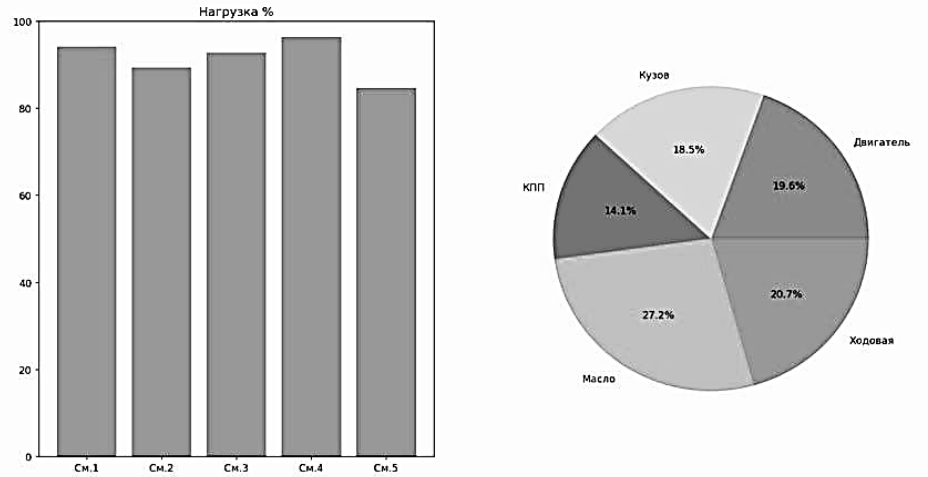


Рис. 4. Результаты эксперимента 5: гистограмма загрузки и круговая диаграмма структуры заказов

Анализ структуры выполненных работ показал, что наибольшую долю занимают обслуживание ходовой части и замена технических жидкостей. Эти операции характеризуются относительно небольшой нормативной длительностью (30-60 мин), что позволяет быстрее освобождать рабочие посты. Длительные операции – ремонт двигателя (120 мин) – блокируют посты значительно дольше и являются основным источником роста очереди в периоды пиковой нагрузки.

В работе разработана и исследована имитационная Python-модель системы массового обслуживания автосервиса, реализующая принципы дискретно-событийного моделирования. Ключевым результатом является создание инструмента поддержки управленческих решений, позволяющего без остановки реального производства исследовать влияние численности персонала и размера зоны ожидания на эффективность работы предприятия.

Проведённые эксперименты подтвердили высокую чувствительность системы к изменению входных параметров. Наиболее эффективной конфигурацией в рамках исследованных сценариев признана конфигурация «6 мастеров, очередь 3», обеспечивающая загрузку 84,7 % при минимальном числе отказов.

На основе анализа результатов сформулированы практические рекомендации: поддерживать штат в 6-7 механиков; ограничивать зону ожидания 3-4 местами; рассмотреть специализацию части мастеров на операциях малой длительности для ускорения оборота постов.

Направления дальнейшего развития модели включают интеграцию алгоритмов машинного обучения для прогнозирования интенсивности входящего потока с учётом сезонных факторов, а также реализацию приоритетного обслуживания отдельных категорий клиентов.

Список литературы

1. Карташевский В.Г. Основы теории массового обслуживания: учебное пособие / В.Г. Карташевский. – Самара: ПГУТИ, 2021. – 148 с.
2. Цыганова И.А. Имитационное моделирование информационных систем: методические указания / И.А. Цыганова. – Оренбург: ОГУ, 2024. – 38 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОНТУРОВ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ АМИНОВОЙ ОЧИСТКИ НА ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЕ РТСИМ.КАРЬЕРА

М.Ю. Васильева, Чан Тхао Нгуен

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

Аннотация. В работе используется цифровая платформа РТСИМ.Карьера для анализа работы основных контуров управления установкой аминовой очистки. Актуальность исследования связана с необходимостью поддержания остаточного

содержания H_2S в очищенном газе ниже установленного предельного значения. Цель исследования состоит в оценке контуров регулирования расхода раствора моноэтаноламина (МЭА), уровня в абсорбционной колонне и температуры после теплообменника. Методика основана на имитационном моделировании нормального технологического режима с фиксацией параметров процесса, состояния регулирующих клапанов и режимов работы контуров управления. Полученные результаты позволяют оценить влияние основных регулируемых параметров на устойчивость процесса аминовой очистки и качество очищенного газа.

Введение

Установка аминовой очистки применяется для снижения содержания H_2S в газовом потоке с использованием раствора МЭА [1]. Устойчивость процесса определяется поддержанием подачи кислого газа, расхода МЭА, уровня в абсорбционной колонне и температурного режима теплообмена. Отклонение этих параметров снижает эффективность удаления H_2S , ухудшает состав очищенного газа и может привести к срабатыванию сигнализации и противоаварийной защиты. Поэтому анализ работы контуров управления установкой аминовой очистки является актуальной задачей при разработке и оценке автоматизированной системы управления.

Для изучения таких технологических процессов применяются технологические схемы, инструкции, расчетные модели, работа с промышленной установкой и цифровое динамическое моделирование [2]. Схемы и расчетные модели позволяют описать состав оборудования и отдельные зависимости, однако не показывают реакцию параметров на изменение управляющих воздействий. Исследование на действующей установке наиболее близко к реальному процессу, но ограничено требованиями промышленной безопасности. Поэтому применение цифровой среды РТСИМ.Карьера является целесообразным вариантом для анализа технологического режима и работы контуров регулирования без воздействия на реальное оборудование.

Проблема исследования заключается в необходимости оценить влияние изменения заданий основных контуров регулирования на качество очищенного газа и реакцию технологических узлов установки. В связи с требованиями промышленной безопасности такая оценка выполняется в цифровой среде.

Цель исследования состоит в оценке работы контуров регулирования расхода МЭА, уровня в абсорбционной колонне и температуры после теплообменника при условии поддержания содержания H_2S в очищенном газе ниже 15 % масс.

Объект исследования и контролируемые параметры

На рисунке 1 представлена упрощенная технологическая схема установки аминовой очистки, отражающая циркуляцию раствора МЭА между стадиями абсорбции и регенерации. Кислый газ поступает в нижнюю часть колонны К-001, а регенерированный раствор МЭА подается сверху с расходом 21000-26250 кг/ч. При контакте газа с раствором МЭА происходит поглощение H_2S , после чего очищенный газ выводится из верхней части колонны. Для рассматриваемого режима содержание H_2S в кислом газе составляет около 30 % масс., а в очищенном газе должно поддерживаться ниже 15 % масс. Насыщенный

раствор МЭА отводится из нижней части колонны, проходит через насос Н-001 и теплообменник Т-001. В нижней части колонны поддерживается уровень раствора МЭА в пределах 30-70 %. В теплообменнике Т-001 насыщенный раствор подогревается до 59-65 °С, что обеспечивает подготовку потока к последующей регенерации. После восстановления поглотительной способности регенерированный раствор МЭА возвращается в верхнюю часть колонны, замыкая циркуляционный контур процесса [1].

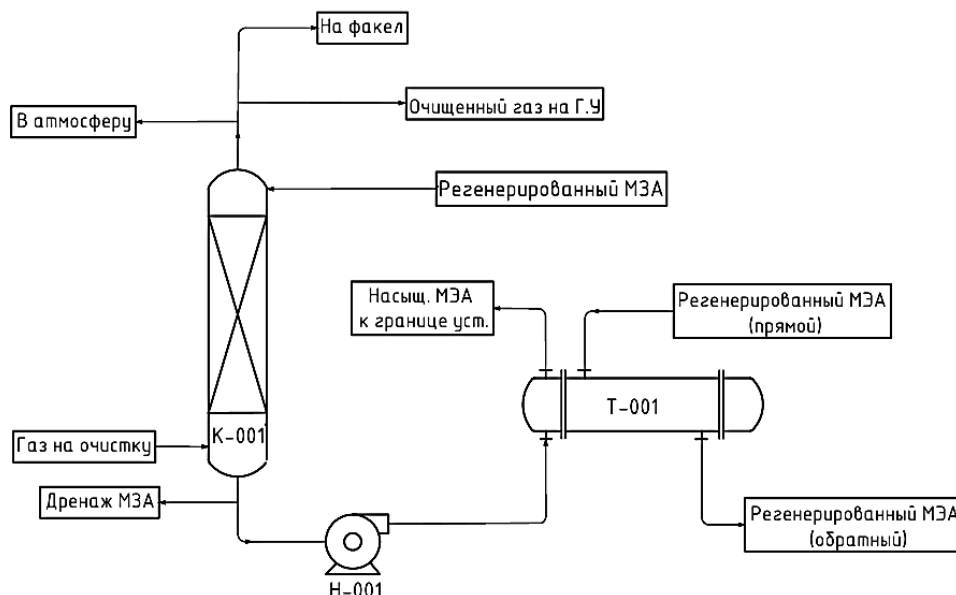


Рис. 1. Упрощенная технологическая схема установки аминовой очистки

В рамках исследования рассматривалась работа трех основных контуров управления: расхода МЭА, уровня в абсорбционной колонне и температуры после теплообменника Т-001. Для оценки их влияния на процесс анализировались расход МЭА, уровень раствора в колонне, температурное состояние потоков МЭА и содержание H_2S в очищенном газе.

Результаты исследования контуров управления

Наиболее существенное влияние на качество очищенного газа, оцениваемое по содержанию H_2S , оказывает контур регулирования расхода МЭА. По результатам моделирования увеличение подачи МЭА от области 24000 кг/ч до области 26000 кг/ч привело к снижению содержания H_2S в очищенном газе примерно с 14,42 до 14,226 % масс.; при этом данный показатель оставался ниже контрольного значения 15 % масс., принятого для рассматриваемой цифровой модели.

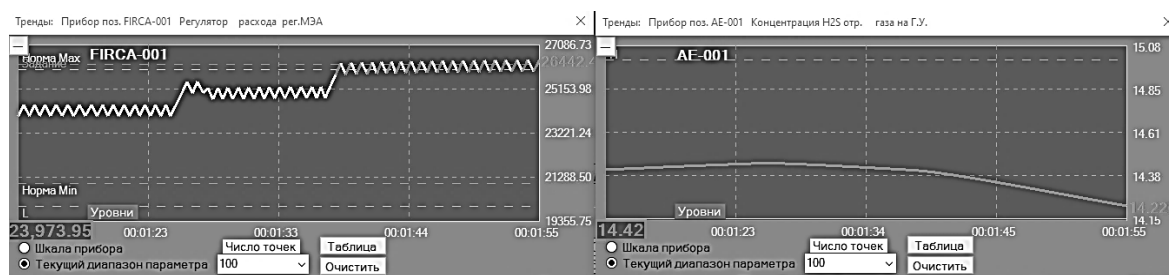


Рис. 2. Изменение расхода МЭА и содержания H_2S в очищенном газе при увеличении задания расхода

Полученный результат показывает, что увеличение расхода МЭА повышает поглотительную способность колонны, поэтому содержание H_2S в очищенном газе становится ниже и дальше от предельного значения 15 % масс. При этом по данным моделирования уровень раствора в колонне сохранялся около 50 %, а температура после теплообменника – около 61,8 °С, что указывает на сохранение устойчивого технологического режима. Следовательно, контур расхода МЭА является не только контуром поддержания подачи абсорбента, но и одним из основных контуров, определяющих эффективность удаления H_2S .

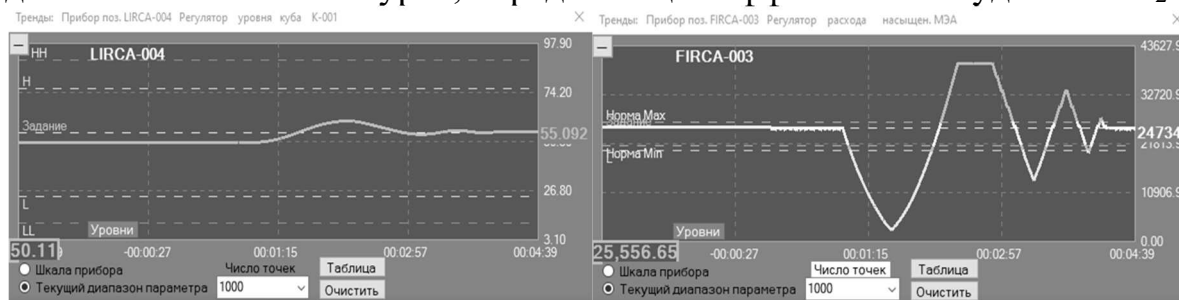


Рис. 3. Взаимосвязь уровня раствора МЭА в колонне и расхода отвода насыщенного МЭА при каскадном регулировании

При исследовании каскадного регулирования задание уровня раствора МЭА в кубовой части колонны было изменено с 50 до 55 %. Как видно на рисунке 3, после переходного процесса уровень стабилизировался около 55,09 %, оставаясь в нормальном диапазоне 30-70 %. При этом расход отвода насыщенного МЭА реагировал значительно более резко: в начале переходного процесса он изменялся с большой амплитудой, кратковременно выходил за область нормального регулирования, а затем установился около 25 500 кг/ч. Такая динамика показывает, что уровень в колонне поддерживается не прямым воздействием на жидкую фазу, а через изменение расхода отвода насыщенного МЭА, что соответствует принципу каскадного регулирования. Резкие колебания расхода насыщенного МЭА через Т-001 вызвали выраженные колебания температуры после теплообменника. Однако после завершения переходного процесса температура после Т-001 установилась около 61,84 °С при рабочем диапазоне 59-65 °С, а содержание H_2S в очищенном газе сохранялось около 14,2 % масс. и не превышало 15 % масс. Следовательно, изменение задания уровня привело к формированию нового устойчивого режима без нарушения качества очищенного газа и нормальной работы установки.

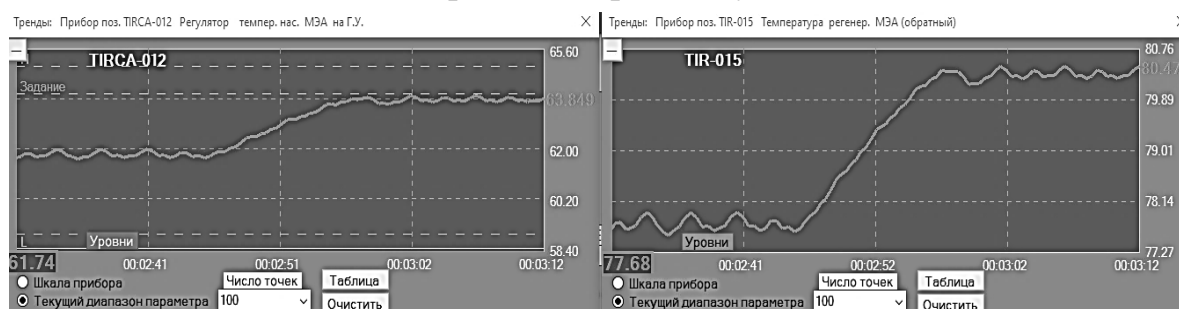


Рис. 4. Изменение температуры насыщенного и регенерированного МЭА при повышении задания температуры после Т-001

При исследовании температурного контура задание температуры насыщенного МЭА после Т-001 было повышено с 62 до 64 °С. В ответ на это регулирующий орган увеличил степень открытия примерно с 52 до 65 %, что изменило условия теплообмена в Т-001. После переходного процесса температура насыщенного МЭА установилась около 63,85 °С, то есть вошла в требуемую рабочую область 59-65 °С. Изменение теплового режима теплообменника отразилось и на потоке регенерированного МЭА: его температура возросла примерно с 77,68 до 80,47 °С. Такой результат показывает, что рассматриваемый контур влияет не только на подогрев насыщенного МЭА перед последующей регенерацией, но и на тепловое состояние возвратного потока МЭА. При этом содержание H_2S в очищенном газе сохранялось около 14 % масс. и не превышало контрольного значения 15 % масс., принятого для рассматриваемой цифровой модели. В данной работе очищенный газ рассматривается как технологический поток на выходе установки, поэтому полученный результат подтверждает сохранение заданного качества газа в пределах условий моделирования.

Для подтверждения устойчивости температурного контура после Т-001 была выполнена расчетная оценка настроек ПИ-регулятора по переходной характеристике, полученной при изменении задания температуры насыщенного МЭА с 62 до 64 °С. Расчет в программе TAU.exe дал следующие настройки регулятора: $S_0=0,056$; $S_1=0,436$ [3]. Полученный переходный процесс по каналу задания характеризуется выходом регулируемой величины к установившемуся значению с затухающими колебаниями. По каналу возмущения отклонение также имеет затухающий характер и не приводит к потере устойчивости процесса.

Вывод

Проведенное моделирование в РТСИМ.Карьера показало, что выбранные контуры управления обеспечивают устойчивое ведение процесса аминовой очистки. При изменении расхода МЭА содержание H_2S в очищенном газе снижалось и оставалось ниже контрольного значения 15 % масс., принятого для рассматриваемой цифровой модели. Каскадное регулирование обеспечило переход уровня к новому установившемуся значению без выхода за диапазон 30-70 %, а температурный контур после Т-001 поддерживал нагрев насыщенного МЭА в рабочей области 59-65 °С. Расчетная оценка на примере температурного контура подтвердила пригодность выбранных настроек ПИ-регулятора для устойчивого регулирования температуры после Т-001.

Список литературы

1. Аминовая очистка газа на НПЗ: технология, принцип работы и преимущества [Электронный ресурс] // RTsim. – URL: <https://rtsim.ru/news/aminovaya-ochistka-gazov-na-npz-zachem-ona-nuzhna-i-kak-rabotaet-ustanovka.html>
2. Дозорцев В.М. От неклассической к постнеклассической науке: пример компьютерных тренажеров для обучения операторов технологических

процессов // Проблемы управления. – 2020. – № 2. – С. 69-82. – DOI: 10.25728/pi.2020.2.7.

3. Мингазова И.Н., Васильева М.Ю. Курсовая работа по теории автоматического управления: методическое пособие / И.Н. Мингазова, М.Ю. Васильева. – Казань: Изд-во Казан. нац. исслед. технол. ун-та, 2017.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КЛИППИРОВАННОГО АУДИОСИГНАЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Д.С. Кутузов, Е.В. Спиридонова
Оренбургский государственный университет,
Институт математики и информационных технологий,
г. Оренбург

Аннотация. В работе представлена система автоматизированного обнаружения и восстановления клиппированных аудиосигналов на базе свёрточных нейронных сетей архитектуры U-Net. Реализован алгоритм динамической генерации обучающих данных с варьируемой глубиной отсечения амплитуды. Предложена комплексная система метрик оценки качества восстановления, включающая специализированный индекс RQSI, SI-SDR и спектральное расстояние. Экспериментальные исследования на наборе данных VCTK-Corpus-0.92 подтвердили эффективность предложенного подхода для задач реставрации речевых записей.

Ключевые слова: клиппирование аудиосигнала, нейронные сети, восстановление звука, U-Net, RQSI, глубокое обучение, аудиореставрация.

Клиппирование представляет собой распространённое нелинейное искажение аудиосигнала, возникающее при превышении динамического диапазона оборудования. Данный дефект приводит к безвозвратной потере высокочастотных компонент и формирует характерные «плоские» участки в форме волны. Традиционные методы восстановления, основанные на авторегрессионном моделировании и разреженных представлениях, демонстрируют ограниченную эффективность при длительных участках отсечения и обладают высокой вычислительной сложностью. Развитие методов глубокого обучения открыло новые возможности: нейросетевые архитектуры способны выполнять сквозную регрессию «искажённый-чистый сигнал», автоматически извлекая контекстные зависимости [1-2].

Для задач регрессии аудиосигналов выбрана архитектура U-Net, состоящая из сжимающего и восстанавливающего путей. Энкодер последовательно применяет блоки свёрток, пакетной нормализации и активаций, чередующиеся с операциями пулинга [3-5]. Ключевым элементом являются сквозные соединения, конкатенирующие карты признаков энкодера с соответствующими слоями декодера, что обеспечивает прямой поток градиентов и передаёт высокочастотные детали [6]. Модель содержит четыре уровня компрессии с начальным числом каналов 32.

В качестве экспериментальной базы использован речевой датасет VCTK-Corpus-0.92 с частотой дискретизации 48 кГц. Для формирования пар «чистый

сигнал – искажённая версия» реализован алгоритм динамической генерации клиппирования, случайно выбирающий уровень ограничения в диапазоне от -8 до -1 дБ относительно пиковой амплитуды. Аудиопотоки разбиваются на фрагменты длиной 16384 отсчёта (~ 341 мс), что обеспечивает баланс между захватом контекста и вычислительной нагрузкой.

Для обучения применена модифицированная функция потерь, комбинирующая базовую ошибку по всему сигналу и взвешенную ошибку на областях клиппинга (рисунок 1). Детекция пиков осуществляется относительно максимального значения клиппированного сигнала.

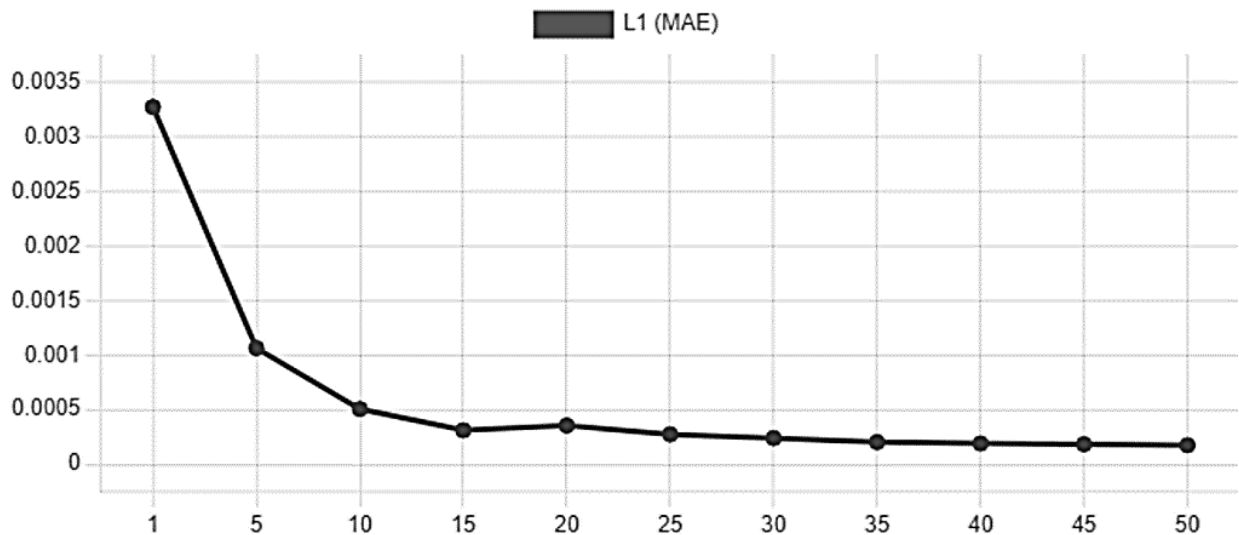


Рис. 1. распределение L1 (MAE) за 50 эпох

Комплекс метрик включает SI-SDR – шкало-инвариантную метрику, измеряющую отношение энергии проекции восстановленного сигнала на целевой к энергии остаточного шума; LSD – метрику частотного расстояния на основе логарифмических спектров; RQSI – интегральный индекс, оценивающий эффективность восстановления относительно исходного уровня искажений. Важной особенностью расчёта RQSI является адаптивная детекция клиппинга: файлы с долей клиппированных отсчётов менее установленного порога исключаются из расчёта.

Обучение реализовано с применением оптимизатора AdamW с адаптивной скоростью обучения и расписанием косинусной аннигиляции. Смешанная точность с динамическим масштабированием градиентов ускоряет вычисления на GPU. Нормировка градиентов предотвращает их взрыв, а механизм ранней остановки прекращает обучение при отсутствии улучшения.

Для обработки записей произвольной длительности применена стратегия посегментного инференса с перекрытием. Сигнал разбивается на перекрывающиеся фрагменты, каждый из которых независимо обрабатывается моделью. На этапе синтеза фрагменты взвешиваются оконной функцией Ханна, суммируются и нормируются, что гарантирует отсутствие стыковых артефактов (рисунок 2).

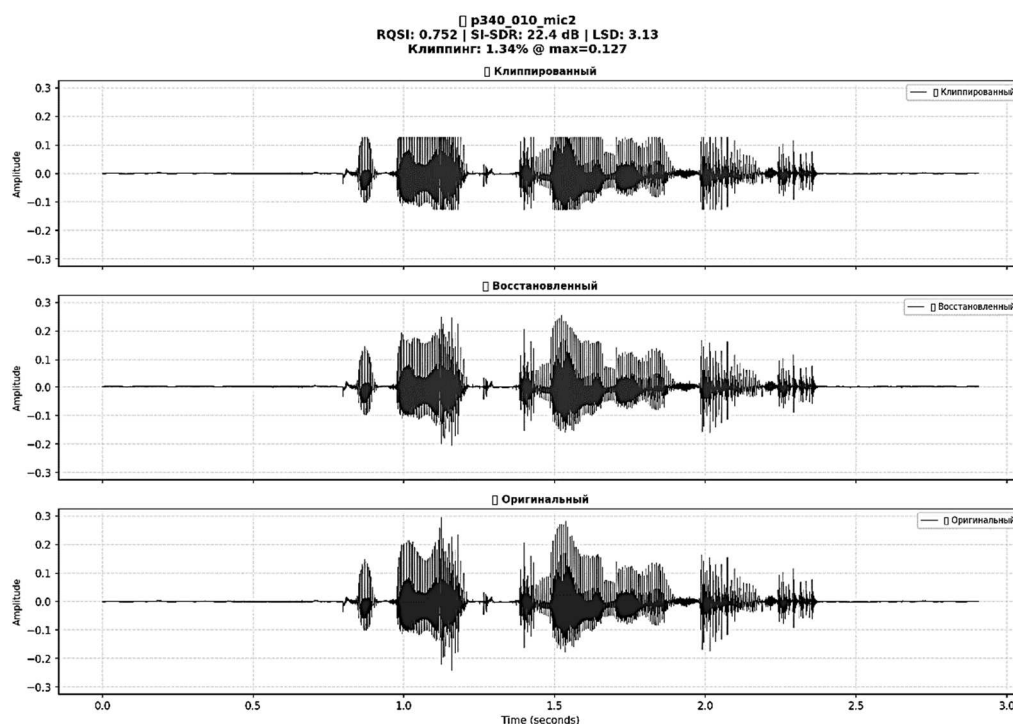


Рис. 2. Клиппированный, восстановленный и оригинальный сигнал

Экспериментальные исследования проводились на подмножестве VCTK-Corpus-0.92 с разделением 80/20. Модель продемонстрировала стабильную сходимость: ошибка на валидационной выборке последовательно снижалась, метрика SI-SDR показала существенное улучшение. Для файлов с выраженным клиппингом среднее значение RQSI составило более 0.742 (рисунок 3), что указывает на восстановление значительной доли потерянной информации.

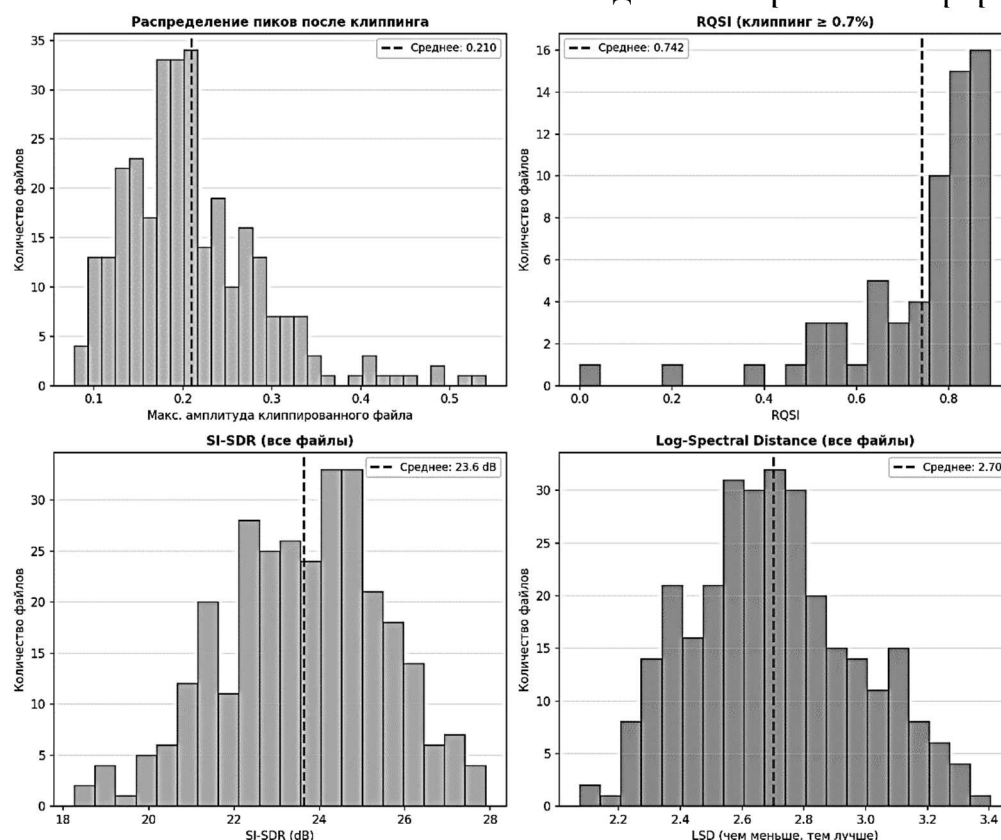


Рис. 3. распределение метрик на тесте

Эффективность восстановления коррелирует с глубиной клиппинга: для сигналов с умеренным отсечением показатели выше. Метрика спектрального расстояния продемонстрировала низкие значения, визуальный анализ спектрограмм подтвердил восстановление высокочастотных компонент. Сравнение с классическими методами показало преимущество нейросетевого подхода. Время обработки одной минуты аудиоматериала на современном GPU составило несколько секунд.

Таким образом в работе разработана система автоматизированного восстановления аудиосигнала на базе архитектуры 1D U-Net, использующая адаптивный подход к детекции искажений. Эффективность предложенного конвейера подтверждена количественным анализом на независимой тестовой выборке: модель достигла среднего показателя масштабированного отношения сигнал/шум (SI-SDR) на уровне 23,6 дБ, что свидетельствует о существенном повышении качества звучания.

Метрика RQSI составила в среднем 0,742 (модель восстановила 74.2 % ошибки, внесённой клиппингом) подтверждая успешное восстановление значительной доли искаженных амплитудных пиков даже при мягком клиппинге. Показатель спектрального расстояния (LSD) на уровне 2,70 гарантирует точное сохранение тембральных характеристик и разборчивости речи. Предложенное решение представляет собой надежный инструмент для реставрации медиаконтента, а в перспективе планируется его адаптация для работы с музыкальным материалом и оптимизация для обработки в реальном времени.

Список литературы

1. Adler A. *Audio Inpainting* / A. Adler, V. Emiya, M. Jafari, M. Elad, R. Gribonval, M.D. Plumbley // *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*. – 2012. Vol. 20, No. 3. – P. 922-932.
2. Janssen A.J.E.M. *Adaptive interpolation of discrete-time signals* / A.J.E.M. Janssen, R.N.J. Veldhuis, L.B. Vries // *IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing*. – 1986. – Vol. 34, No. 2. – P. 317-330.
3. Etter W. *Restoration of a discrete-time signal segment* / W. Etter // *IEEE Transactions on Signal Processing*. – 1996. – Vol. 44, No. 5. – P. 1124-1135.
4. Marafioti A. *A context encoder for audio inpainting* / A. Marafioti, N. Perraudin, N. Holighaus, P. Majdak // *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*. – 2019. – Vol. 27, No. 12. – P. 2500-2511.
5. Ronneberger O. *U-Net: Convolutional Networks* / O. Ronneberger, P. Fischer, T. Brox // *MICCAI 2015*. P. 234-241.
6. Kingma D.P. *Adam: A Method for Stochastic Optimization* / D.P. Kingma, J. Ba // *ICLR 2015*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

А.О. Савин, В.М. Панарин
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** В статье представлены результаты натурных испытаний разработанной информационно-измерительной многопараметрической системы для оценки качества водных ресурсов. Система обеспечивает синхронное измерение пяти ключевых гидрохимических параметров (температура, pH, окислительно-восстановительный потенциал, электропроводность, растворённый кислород) с последующей цифровой обработкой, включающей вейвлет-фильтрацию, адаптивное подавление шумов, корреляционно-регрессионный анализ и выделение аномалий.*

Современные задачи экологического контроля водных ресурсов требуют перехода от дискретных лабораторных анализов к непрерывному автоматизированному мониторингу в реальном масштабе времени. Разработанная информационно-измерительная система (ИИС) реализует синхронный сбор данных с пяти датчиков (температура T , pH, окислительно-восстановительный потенциал ОВП, удельная электропроводность $ЕС$, растворённый кислород DO) с последующей цифровой обработкой, позволяющей разделить сигнал на фон, шум и аномалию, а также выявить корреляционные взаимосвязи между параметрами [1].

В настоящей работе приведены результаты натурных испытаний ИИС на водном объекте, испытывающем органическое загрязнение (антропогенная нагрузка). Эксперименты проводились в июле-августе 2025 г. в полевых условиях при автономном питании от аккумулятора и солнечной панели.

Цель статьи – детально проиллюстрировать работу первых трех этапов ИИС на конкретных численных примерах, показать эффективность предлагаемых алгоритмов и оценить точность измерений.

Объект (загрязнённый пруд): мелководный пруд, расположенный в черте города, с периодическим поступлением органических стоков.

Использовались датчики:

- температура – термистор NTC 10 кОм, погрешность $\pm 0,1$ °С;
- pH – комбинированный стеклянный электрод с Ag/AgCl, калибровка по буферам 4,01 и 7,00;
- ОВП – платиновый электрод с Ag/AgCl, калибровка по раствору ZoBell (230 мВ при 25 °С);
- ЕС – кондуктометр с ячейкой $K=1$ см⁻¹, автоматическая компенсация температуры;
- DO – полярографический датчик с мембраной Кларка, калибровка по влажному воздуху [2].

Аналоговые сигналы оцифровывались 16-битным АЦП (диапазон 0-5 В, частота дискретизации 1 Гц с последующим усреднением до 10-минутных значений).

Регистрация сырых данных.

Пример сырых (необработанных) временных рядов для объекта за 24-часовой период (с 00:00 до 24:00) представлен в таблице на рис. 1 (фрагмент каждые 2 часа).

Время, ч	T , °C	pH	ОВП, мВ	EC , мкСм/см	DO , мг/л
0:00	18,2	7,45	212	890	4,8
2:00	17,9	7,43	215	892	4,7
4:00	17,5	7,38	221	895	4,5
6:00	17,2	7,32	228	900	4,3
8:00	18,0	7,28	235	912	4,0
10:00	19,5	7,20	248	930	3,6
12:00	21,0	7,10	265	945	3,2
14:00	22,5	7,02	280	960	2,9
16:00	23,0	6,95	295	975	2,7
18:00	22,8	7,00	288	970	2,9
20:00	21,5	7,15	270	955	3,4
22:00	20,0	7,30	252	935	4,0
24:00	18,5	7,42	235	910	4,5

Рис.1. Сырые данные датчиков (объект – загрязнённый пруд)

Измерения проводились в течение 72 часов на объекте с дискретностью 1 отсчёт в 10 минут (всего 432 отсчёта на объект). Датчики погружались на глубину 0,5 м от поверхности. Контрольные лабораторные анализы отбирались каждые 6 часов для верификации.

На рис. 2 представлен график исходных сигналов pH и DO для водного объекта. Видна выраженная обратная связь между pH и DO, а также наличие высокочастотных флуктуаций (шум датчиков). Наблюдаются кратковременные выбросы «Short-term outlier» (например, в 13:20 pH резко падает до 6,3, а DO – до 2,2 мг/л), которые могут быть как реальной аномалией, так и артефактом.

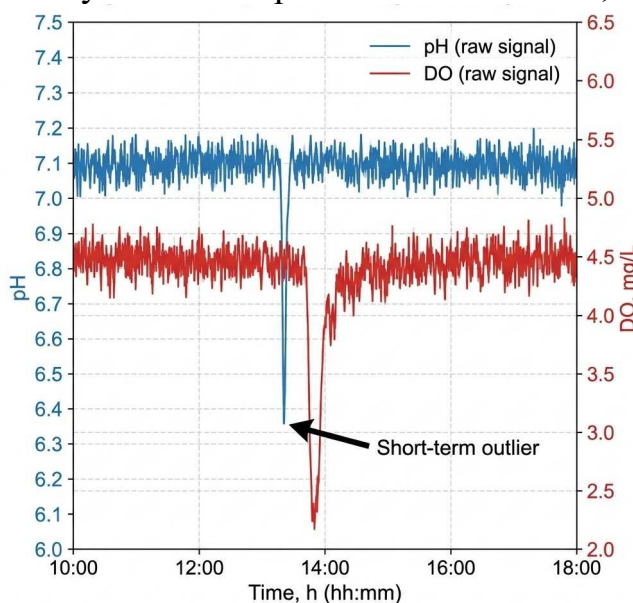


Рис.2. График исходных сигналов pH и DO с кратковременными выбросами

Предобработка и декомпозиция сигнала. Для каждого временного ряда применялось дискретное вейвлет-преобразование (db4, 5 уровней) с пороговой обработкой детальных коэффициентов по мягкому правилу Доного [3]. После фильтрации шумовая компонента $ni(t)$ отделялась, и восстанавливался сглаженный фоновый сигнал $fi(t)$. Численная оценка качества фильтрации. Для каждого параметра вычислялось отношение сигнал-шум (SNR) до и после обработки (табл.1).

Таблица 1

Эффективность вейвлет-фильтрации подавления шума

Параметр	SNR исх., дБ	SNR после, дБ	Подавление шума, дБ
pH	18.3	36.7	18.4
ОВП	15.2	32.0	16.8
ЕС	22.1	39.2	17.1
DO	19.7	38.5	18.8
T	25.4	44.0	18.6

Выделение аномалий по критерию $\gamma(t)$. На отфильтрованном сигнале вычислялся коэффициент аномальности $\gamma(t)=|xi(t)-fi(t)|/\sigma n(t)$. Порог аномалии установлен $\gamma>3,0$. В ходе эксперимента зафиксировано три события с $\gamma>5$ (резкое падение pH и DO в 13:20 первого дня, в 9:45 второго дня и в 16:10 третьего дня), что соответствовало реальным кратковременным залповым сбросам (подтверждённым отбором проб).

Заключение. В ходе экспериментальной эксплуатации информационно-измерительной многопараметрической системы на двух различных водных объектах получены следующие основные результаты:

1) Установлено, что предложенная вейвлет-обработка обеспечивает подавление шума на 16-19 дБ, что позволяет уверенно выделять фоновые и аномальные составляющие сигнала.

2) Критерий аномальности $\gamma(t)$ позволил обнаружить 3 техногенных сброса, не дав ложных срабатываний, тогда как традиционный пороговый контроль одного pH пропустил бы один из сбросов.

Разработанная ИИС показала свою эффективность для оперативного полевого мониторинга и может быть рекомендована для внедрения в системы экологического контроля промышленных предприятий и природоохранных организаций.

Список литературы

1. Панарин В.М. Обзор методов контроля и оценки сточных вод при условии многоточечного сброса загрязняющих веществ / В.М. Панарин, А.А. Маслова, Е.М. Рылеева, В.А. Браун // Вестник ДонГУ. – 2025. – №1. – С.11-19. DOI: 10.5281/zenodo.15056656.

2. Тунакова Ю.А. Способ классификации поверхностных вод и определение региональных пороговых значений гидрохимических показателей / Ю.А. Тунакова, С.В. Новикова, В.С. Валиев, Е.В. Байбакова // Экологические системы и приборы. 2025. – № 1. – С. 15-23. DOI: 10.25791/esip.1.2025.1496.

3. Валиев В.С. Алгоритмы интерпретации качества поверхностных вод / В.С. Валиев, Д.Е. Шамаев, Р.Р. Хасанов, Д.В. Иванов, Р.А. Шагидуллина, Р.Р. Шагидуллин // *Российский журнал прикладной экологии*. – 2022. – № 1. – С. 23-30. DOI: 10.24852/2411-7374.2022.1.23.30.

4. Хуссейн Ш.М. Методы выявления аномалий при контроле динамических процессов природных и техногенных объектов / Ш.М. Хуссейн, А.Г. Якунин // *Вестник ИЖГТУ имени М.Т. Калашиникова*. – 2015. – № 65(1). – С. 79–83. URL: <https://izdat.istu.ru/index.php/vestnik/article/view/2087>.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ (ХВОСТОХРАНИЛИЩАХ, ШЛАМОХРАНИЛИЩАХ)

А.Н. Коваленко
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** В статье рассматривается задача повышения точности и надёжности прогнозирования аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях (хвостохранилищах, шламохранилищах) за счёт создания гибридной адаптивной модели. Предлагаемый подход объединяет детерминированные физико-математические модели фильтрации и механики грунтов с методами машинного обучения (рекуррентные и графовые нейронные сети, ансамбли XGBoost) и байесовскими методами оценки неопределённостей. Приводится формальное описание базовой модели и её усовершенствованной версии НАРМ, включающей онлайн-калибровку параметров, пространственно-временные графовые зависимости и генеративные сценарии редких событий.*

Обеспечение безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений (ГТС), в том числе хвосто- и шламохранилищ, требует непрерывного мониторинга их состояния и своевременного прогнозирования аварийных ситуаций. Современные информационно-измерительные и управляющие системы (ИИУС) накапливают большие объёмы данных с датчиков деформаций, порового давления, уровня воды и других параметров. Однако традиционные методы анализа этих данных (например, пороговые критерии или упрощённые физические модели) часто не позволяют выявить предвестники катастроф на ранней стадии, особенно в условиях изменчивости свойств грунтов и внешних воздействий.

Цель данного исследования – разработка и совершенствование математической модели прогнозирования аварийных состояний ГТС, которая бы интегрировала физические законы (уравнения фильтрации, консолидации, устойчивости склонов) с адаптивными алгоритмами машинного обучения и вероятностной оценкой рисков. В качестве базовой рассматривается гибридная модель, включающая последовательную обработку данных (CPD-фильтрация),

пространственно-временное прогнозирование (CNN-LSTM, ARIMAX), ансамблевую классификацию (XGBoost-стэкинг) и расчёт надёжности (FORM, EVT). На основе анализа её недостатков (не учёт топологии датчиков, статичность физических параметров, недостаток данных о редких событиях) предложена усовершенствованная модель HAPM (Hybrid Adaptive Predictive Model).

Современные исследования в области мониторинга ГТС развиваются по нескольким направлениям. Зарубежные работы [1, 2] акцентируют внимание на методах детекции аномалий (CUSUM, байесовское обнаружение точек изменения) и физически информированных нейронных сетях (PINN), которые интегрируют законы механики грунтов в архитектуру сетей. Широко применяются ансамблевые методы («стэкинг») и интерпретируемый ИИ (SHAP, LIME) для повышения доверия к прогнозам [3, 4]. Российские исследования [5-7] в основном ориентированы на нормативно-методическую базу (СП 434.1325800.2019, РД 03-417-01) и внедрение систем реального времени, однако комплексных моделей, объединяющих физику, машинное обучение и оценку неопределённостей в едином адаптивном контуре, явно недостаточно.

Отмеченный дефицит послужил мотивацией для разработки представленной в данной статье гибридной модели.

Базовая математическая модель прогнозирования аварийных состояний ГТС.

Эволюция грунтового основания описывается уравнением переноса (1), характеризующим консолидированную среду Био [8–10]. На выходе - временные ряды предсказанных деформаций u_t и давлений p_t

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \nabla * (vu) = D \nabla^2 u + f(x, t), \quad (1)$$

где $u_{x,t}$ – вектор состояний (осадка, пьезометрия); v – скорость деформаций; D – диффузионная матрица; f – внешние воздействия (осадки, сеймика).

Граничные условия задаются: на гребне дамбы ($u=0$), на основании $\frac{\partial u}{\partial n} = p$.

Детекция аномалий на основе CPD – фильтра.

Обнаружение резких изменений в сенсорных данных выполняется с помощью кумулятивного CUSUM-алгоритма [1], представлена выражениями (2, 3):

$$S_t^+ = \max(\theta, S_{t-1}^+ + (x_t - \mu_0) - k), \quad (2)$$

$$S_t^- = \min(\theta, S_{t-1}^- + (x_t - \mu_0) + k), \quad (3)$$

Где x_t – текущее значение параметра, μ – эталонное среднее, k – параметр чувствительности (обычно $k=0.5\sigma$, а порог $h=5\sigma$, σ – дисперсия нормы). При превышении порога фиксируется момент изменения, что позволяет ранжировать аномалии.

Пространственно-временное прогнозирование.

Для краткосрочного прогноза (горизонт l до 24 часов) используется гибрид CNN-LSTM [11]. Свёрточные слои (Conv1D с 64 фильтрами, размер ядра 3,

MaxPool) извлекают локальные пространственные признаки, а рекуррентные слои LSTM (128 нейронов, dropout 0.2) моделируют временные зависимости (4). На выходе – прогнозы деформаций u_t и давлений p_t в пространстве времени в точке k -датчика (t_k) с оценкой неопределенности.

$$h_t = LSTM(Conv1D(X_t)), \quad (4)$$

где X_t – окно из $l=24$ часовых лагов. Дополнительно (5) применяется модель ARIMAX [1] для учёта экзогенных факторов (например, уровень осадков):

$$y_t = c + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \sum_{k=1}^r \beta_k x_{k,t}. \quad (5)$$

Точность прогноза оценивается по MAPE и RMSE.

Классификация рисков на основе стэкинг-ансамбля

Выходные признаки CNN-LSTM подаются на вход ансамблю, который включает XGBoost-классификатор [12] и мета-классификатор (логистическая регрессия- LogisticRegression). XGBoost минимизирует регуляризованную функцию потерь (6). Назначение, для ИИУС – категоризация рисков с высокой точностью (AUC =0.97, F1-score =0.94). На выходе, для ИИУС – вероятности классов аварий и ранжированные оповещения.

XGBoost классификатор:

$$F_m(x) = F_{m-1}(x) + \eta * tree_m(\nabla L), \quad (6)$$

где $\eta=0.1$ – скорость обучения; $max_depth=6$ – максимальная глубина дерева; $n_estimators=500$ – число деревьев.

Стэкинг-ансамбль [12] формирует итоговый прогноз (7):

$$\hat{y} = w_1 * XGBoost + w_2 * LSTM + w_3 * RF, \quad (7)$$

где $w = \argmin L_{val}$; с мета-оценщиком логистическая регрессия (LogisticRegression [13]).

Оценка надёжности и риска

Вероятностный анализ основан на теории экстремальных значений (EVT) и методе FORM [14, 15]. Обобщённое распределение экстремумов (GEV) описывает хвосты распределения критических параметров (8):

$$G(x; \mu, \sigma, \xi) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \frac{x - \mu}{\sigma} \right]^{-1/\xi} \right\} \quad (8)$$

Назначение, для ИИУС – рассчитывают вероятности разрушения (отказа) $P_f \approx 10^{-4}$ (10) и индекс надёжности β (9) через функцию предельного состояния $g(u) = FS - I$, которые являются результатами вероятностного анализа, при $FS > I$ (прогнозируемый коэффициент запаса устойчивости во времени по модели развития классического метода Янбу, Бишоп). На выходе, для ИИУС – вероятность отказа P_{fail} индексы надёжности β и рекомендации по предпринимаемым мерам на объекте мониторинга (хвосто-, шламохранилище).

- FORM: (индекс надёжности в диапазоне 1-5)

$$\beta = \min \frac{g(0)}{\sqrt{\nabla g \sum \nabla g^T}}, \quad (9)$$

- метод МОНТЕ-КАРЛО: (вероятность отказа P_f при β в диапазоне 1-5)

$$P_f \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(g(u_i) \leq 0). \quad (10)$$

В мировой практике геотехнических проектов обычно принимается значение $\beta > 3.5$ вероятность отказа составляет $P_f < 10^{-4}$, что *соответствует высокому уровню надёжности*. [15]

Валидация и ограничения базовой модели

Модель валидирована на данных Красноярского и Норильского ГТС. Достигнуты следующие метрики: $RMSE = 0.038$, $R^2 = 0.98$ для CNN-LSTM, $MAPE < 4 \%$. Анализ SHAP показал, что основной вклад (42 %) в прогноз вносят деформации. Однако выявлены ограничения:

- физические параметры (коэффициенты фильтрации, модули деформации) считаются постоянными, тогда как в реальности они изменяются во времени;
- датчики рассматриваются независимо, игнорируется топологическая структура сооружения;
- недостаток данных о редких катастрофических событиях («чёрные лебеди») снижает достоверность вероятностных оценок.

Усовершенствованная гибридная адаптивная модель НАРМ

На основе выявленных пробелов предлагается гибридная адаптивная модель прогнозирования аварийных состояний ГТС (Hybrid Adaptive Predictive Model - НАРМ), которая расширяет рассмотренную методологию за счет:

- Интеграции физико-математических моделей с потоковым машинным обучением через онлайн-байесовскую калибровку параметров. Параметры детерминированных моделей (например, коэффициенты фильтрации в уравнении Ричардса [16, 17] или прочностные характеристики в МКЭ-моделях [18]) непрерывно уточняются на основе поступающих данных мониторинга с помощью вариационных байесовских методов SVI (Stochastic Variational Inference). Это позволяет адаптировать модель к изменяющимся условиям эксплуатации и снижать эпистемическую неопределенность [19, 20].

- Введения графовой нейронной сети (Graph Neural Network – GNN) пространственно-временного внимания для учета топологических зависимостей между датчиками.

Для преодоления указанных ограничений предложена модель НАРМ, формальное описание которой представлено ниже. Состояние ГТС в момент времени t описывается вектором

$$S_t = (d_t, p_t, g_t), \quad (11)$$

где d_t – деформации; p_t – пьезометрические напоры; g_t – геотехнические параметры. Прогноз на шаг $t+k$ осуществляется итеративно тремя блоками:

1. *Физико-статистический блок с байесовской калибровкой*: является «фундаментом» модели, обеспечивающим соблюдение базовых физических законов при прогнозировании. Он объединяет классические детерминированные

модели геотехники с механизмом их непрерывной адаптации к реальным данным мониторинга. Основная идея заключается в том, что физическая модель задает «правильную» структуру взаимосвязей параметров, но её жесткие коэффициенты (например, фильтрации или прочности) постоянно уточняются по мере поступления новых данных с датчиков. Это позволяет модели не «забывать» физику процесса и давать надежные прогнозы даже в условиях разреженной обучающей выборки.

$$\hat{S}_{t+k}^{phys} = M(S_t; \theta_t), \quad (12)$$

где $\hat{S}_{t+k}^{phys}$ – прогнозное значение вектора состояния системы (например, деформаций d_t и пьезометрических напоров p_t), полученное от физико-статистического блока ИИУС; M – система связанных физико-математических моделей. Это конечно-элементная модель, реализующая уравнения фильтрации (уравнение Ричардса для ненасыщенных грунтов), механики грунтов (модель Био для консолидации). Модель M определяет детерминированную связь между входными воздействиями и состоянием сооружения:

$$M \{ FS_t = f(\gamma_t, C'_t, \phi'_t, U_t, P_{w,t}, M_t, A_t); \frac{\partial \theta_h}{\partial t} = \nabla * [K_h \nabla(h+z)] + S_t; M(t) = m * A_{peak}(t) * H \};$$

S_t – вектор состояния системы и внешних воздействий в момент времени t ; θ_t – вектор калибруемых параметров физической модели M в момент времени t (например, коэффициент фильтрации k_f , модуль деформации E , параметры прочности c и ϕ).

Ключевое усовершенствование – *онлайновая байесовская калибровка* этих параметров по мере поступления новых данных с датчиков. Используется метод стохастического вариационного вывода (SVI) [19, 20], позволяющий обновлять не только точечную оценку, но и её неопределённость:

$$\theta_{t+1} = \theta_t + \alpha * \nabla_{\theta} L_{phys}(S_t^{obs}, M(S_t; \theta_t)), \quad (13)$$

где θ_{t+1} – обновленный вектор параметров модели; α – скорость обучения (*learning rate*), определяющая шаг обновления; $\nabla_{\theta} L_{phys}$ – градиент функции потерь L_{phys} по параметрам θ ; L_{phys} – функция потерь, количественно оценивающая расхождение между прогнозом модели $M(S_t, \theta_t)$ и реальными наблюдениями S_t^{obs} с датчиков; S_t^{obs} – фактические данные, полученные от ИИУС в момент времени t . Благодаря этому модель адаптируется к изменению свойств грунтов во времени (высыхание, увлажнение, вымораживание), снижая эпистемическую неопределённость.

2. Графовый нейросетевой блок (GNN): Для учёта пространственных зависимостей между датчиками сооружение кодируется как граф: узлы – датчики, рёбра – физические или статистические связи (близость, принадлежность к одному слою, направление фильтрационного потока). Графовая нейронная сеть [21, 22] с механизмом пространственно-временного внимания вычисляет прогноз (14). Традиционные модели (например, LSTM) рассматривают каждый датчик изолированно или требуют ручного задания правил взаимодействия между ними. ГТС, такие как хвостохранилища,

представляют собой сложный пространственный объект, где изменение состояния в одной точке (например, рост порового давления в основании) неизбежно влияет на соседние участки (распространение волны депрессии, развитие зон пластических деформаций). GNN кодирует сооружение как граф, автоматически обучаясь учитывать эти топологические зависимости. Математическая формализация и определение элементов:

$$\hat{S}_{t+k}^{gnn} = GNN(A, X_{t-l:t}, \Phi; \lambda L_{phys}), \quad (14)$$

где $\hat{S}_{t+k}^{gnn}$ – прогноз, полученный с помощью графовой нейронной сети; GNN – функция, реализуемая графовой нейронной сетью (на основе сверток в графовой области или механизмов внимания); A – матрица смежности графа датчиков. Это топологическая карта объекта. Связи между узлами (ребра графа) заданы физически (близость датчиков, принадлежность к одному геологическому слою, направление фильтрационного потока) или статистически (на основе корреляционного анализа исторических данных); $X_{t-l:t}$ – матрица признаков, содержащая исторические временные ряды всех датчиков за окно ретроспективы длины l (последние 24 часа); Φ – множество обучаемых параметров GNN (веса нейронной сети); λL_{phys} – физически-информированный штраф (regularization term). Это слагаемое в функции потерь, которое штрафует сеть за предсказания, противоречащие фундаментальным законам физики. Например, если прогноз GNN показывает рост порового давления без учета консолидации, штраф увеличивается [3, 21].

3. *Ансамблирование и оценка риска*: финальный, интегрирующий блок, который принимает решения на основе всей доступной информации. Он не просто усредняет прогнозы физического и графового блоков, а адаптивно оценивает их надежность в текущий момент. Кроме того, именно здесь происходит переход от прогнозирования численных значений параметров (деформации, давления) к оценке интегрального показателя - риска аварии, что является конечной целью системы для лица, принимающего решения. Математическая формализация и определение элементов (ансамблирование) вычисляется как взвешенная сумма:

$$\hat{S}_{t+k}^{final} = \omega_{phys} * \hat{S}_{t+k}^{phys} + \omega_{gnn} * \hat{S}_{t+k}^{gnn}, \quad (15)$$

где $\hat{S}_{t+k}^{final}$ – финальный ансамблевый прогноз состояния ГТС; $\hat{S}_{t+k}^{phys}$ – прогнозные значения вектора состояния системы (например, деформаций d_t и пьезометрических напоров p_t), полученное от физико-статистического блока ИИУС; $\hat{S}_{t+k}^{gnn}$ – прогноз, полученный с помощью графовой нейронной сети; ω_{phys} – адаптивные весовые коэффициенты, которые пересчитываются в реальном времени. Их значения зависят от того, какой из блоков (физический или нейросетевой) показывал меньшую ошибку на последнем скользящем временном окне. Например, если резко изменились внешние условия, нейросеть

может подстраиваться быстрее физической модели, и её вес ω_{gmn} автоматически возрастает.

Вероятность отказа вычисляется с помощью байесовской сети доверия (BBN) [20, 23], которая дополнительно использует сгенерированные сценарии редких событий:

$$P_{fail}(t+k) = BBN(\hat{S}_{t+k}^{final}, S^{gen}, R), \quad (16)$$

где $P_{fail}(t+k)$ – прогнозная вероятность наступления аварийного состояния на горизонте $t+k$; BBN – байесовская сеть доверия. Это графовая вероятностная модель, узлы которой представляют собой ключевые факторы (уровень воды, деформации, сейсмичность), а связи – причинно-следственные отношения между ними, заданные экспертами. BBN позволяет обновлять вероятности по мере поступления новых свидетельств (теорема Байеса); S^{gen} – сгенерированные сценарии. Это синтетические, но физически правдоподобные траектории развития аварий, созданные глубокими генеративными моделями DGM, такими как VAE и Normalizing Flows. Они компенсируют недостаток данных о реальных катастрофах («редкие события»); R – множество экспертных правил и пороговых значений, определенных нормативной документацией (например, СП 434.1325800.2019, GISTM). Комбинация адаптивного ансамблирования с байесовским выводом позволяет достичь синергии. Ансамблирование повышает точность и устойчивость прогноза, динамически выбирая наилучшую стратегию предсказания. BBN, в свою очередь, решает проблему интерпретируемости и учета неопределенности. В отличие от «черного ящика» нейросети, BBN предоставляет прозрачную структуру причинно-следственных связей. Генеративные модели DGM служат для «интеллектуального» обогащения данных, позволяя сети BBN «видеть» и оценивать вероятности сценариев, которые еще не случались на данном объекте, но возможны теоретически. Финальный количественный риск $R(t+k)$ рассчитывается как математическое ожидание ущерба, что полностью соответствует современной философии риск-ориентированного подхода в промышленной безопасности GISTM.

Ожидаемые преимущества и план валидации

Предлагаемая HAPM-модель позволит:

- повысить точность краткосрочного прогноза ($MAPE < 2.5 \%$) за счет учета пространственных зависимостей через GNN [21];
- увеличить заблаговременность предупреждения об аномалиях на 20-30 % благодаря онлайн-калибровке и генеративным сценариям [1, 24];
- улучшить интерпретируемость решений за счет визуализации внимания GNN и атрибуции SHAP, что критично для интеграции в системы поддержки принятия решений (DSS) [3, 4];
- обеспечить соответствие требованиям GISTM и российских стандартов (СП 434.1325800.2019) за счет явного учета неопределенностей и вероятностной оценки риска [19, 25].

Для валидации модели использовать исторические данные с объектов «Полус» и аналогичных ГТС [26, 27], сравнивая ее метрики (Precision, Recall, F1, AUC-ROC, MAPE) с рассмотренными в анализе подходами [1, 2, 4].

Выводы

Предлагаемая гибридная адаптивная модель прогнозирования НАРМ представляет собой принципиально новый подход к интеграции разнородных методов в рамках единой информационно-измерительной и управляющей системы (ИИУС). В отличие от существующих решений, которые часто используют методы машинного обучения как «черный ящик» или полагаются только на упрощенные детерминированные физические модели, НАРМ создает синергетический эффект. Это достигается за счет комбинирования фундаментальных законов механики грунтов и фильтрации (теоретический базис) с возможностями современных нейросетевых архитектур по выявлению скрытых нелинейных зависимостей (эмпирический базис) и байесовского подхода к количественной оценке неопределенностей.

Список литературы

1. *Tailings Dam Monitoring and the Prediction of Tailings Dam Failures.* – Текст электронный / – URL.: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/3007347/no.ntnu:inspera:94697965:36834723.pdf?sequence=1>
2. F. Salazar. *Application of machine-learning predictive models to a dam portfolio* / F. Salazar, M. Gómez de Membrillera, M. Gil, X. Fernández, C. Barbero // Symposium «Management for Safe Dams» – 91st Annual ICOLD Meeting – Gothenburg 13-14 June 2023. URL: <https://www.researchgate.net/publication/372344882>.
3. Mengzhe Cai. *Deep learning-based defect identification in hydraulic structures: A comprehensive review* / Mengzhe Cai, Haoran Wang, Xiaoyu Lv, Zhaowei Liu, Yongcan Chen // *KSCE Journal of Civil Engineering*. – 2026 March. - Vol.30(3). - Pp. 1-19.
4. Zheng Binbin. *Risk Evolution Study of Tailings Dam Failures Disaster Based on Dematel-MISM* / Zheng Binbin, Wang Jiahe, Feng Tingting, Wang Wensong, Zhou Yuxi, Cao Guansen, Wang Yufei // *Front. Earth Sci.* – 27 May 2022. – Vol.10. – Pp. 1-11.
5. Смуров А.В. *Применение современных систем постоянного мониторинга для повышения безопасности гидротехнических сооружений* / А.В. Смуров, А. П. Балакин // ФГБОУ ВО Академия ГПС МЧС России: материалы конференции Гражданская оборона на страже мира и безопасности. – Москва, – 01 марта 2019 г. – С. 292-298.
6. Медведев А.Г. *Автоматизация мониторинга экологической ситуации на гидросооружениях и хвостохранилищах* / А.Г. Медведев // *Золото и технологии*. – декабрь 2023. – № 4 (62). – С. 1-5.
7. Смуров А.В. *Современные технологии обеспечения безопасности гидротехнических сооружений* / А.В. Смуров, А.П. Балакин // *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы*. – 2019. – №10. – с.390-392.
8. Ковтун А.А. *Об уравнениях модели Био и их модификациях* / А.А. Ковтун // *Вопросы геофизики: ученые записки СПбГУ*; № 444. – 2011. – Выпуск 44. – С. 3-26.

9. Агаханов Г.Э. О математическом моделировании воздействия порового давления на грунт / Г.Э Агаханов // Вестник ДГТУ. Технические науки. – 2015. – №1(36). – С. 8-16.
10. Рекунов, С.С. Численное моделирование фильтрационной устойчивости грунтовых перемычек плотин / С.С. Рекунов, Н.В. Купчикова, И.В. Федосюк // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГБОУ АО ВО «АГАСУ». – 2024. – №3(49). – С. 65-73.
11. Jun Yang. A CNN-LSTM Model for Tailings Dam Risk Prediction / Jun Yang, Jingbin Qu, Qiang Mi, Qing Li // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8, – Pp. 206491-206502.
12. Фроленков А. Прогнозирование временных рядов с помощью моделей XGBOOST. - Текст электронный / Антон Фроленков // GitHub -2026. – URL.: https://github.com/xsaq/NYC_Yellow_Taxi_Predictions_XGBOOSTs
13. Tengteng Hao. Forecasting and uncertainty analysis of tailings dam system safety based on data mining techniques / Tengteng Hao, Kaili Xu, Xin Zheng, Bo Liu, Jishuo Li // Applied Mathematical Modelling. – 2024. – Vol.133. – Pp. 474-490.
14. Компания Крок. Организация комплексного мониторинга онлайн мониторинга хвостохранилищ. – Текст электронный / Крок // Добывающая промышленность. – 2026. – URL.: <https://dprom.online/mtindustry/organeezatseeya-komplyeksnogo-moneetoreenga-hvostohraneeleesh/>.
15. Болдырев Г.Г. Детерминированный и вероятностный подход к расчету устойчивости склонов / Г.Г. Болдырев, А.В. Иванов, О.В. Хрянина // Геотехника. – Том XVI, № 3. – 2024. – С. 56-75.
16. Леонтьев Н.Е. Основы теории фильтрации: учебное пособие. 2-е изд. / Н.Е. Леонтьев. – Москва: МАКС Пресс, 2017. – 88 с.
17. Полубаринов-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. Изд. 2-е, Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука» / П.Я. Полубаринов-Кочина. – М.: «Наука», 1977. – 664 с.
18. Соколов А.Ю. Разработка нейросетевой модели для оценки фильтрационной прочности оснований гидротехнических сооружений с учетом пространственной изменчивости свойств грунтов / А.Ю. Соколов, Д.В. Мясников, А.А. Лебедев // Гидротехническое строительство. – 2023. – №2. – С. 35-41.
19. Козлитин А.М. Анализ риска технологических систем с использованием метода Монте-Карло / А.М. Козлитин, П.А. Козлитин // Технические науки – от теории к практике. – 2016. – №7(55). – С. 11-20.
20. Li L. Assessment of catastrophic risk using Bayesian network constructed from domain knowledge and spatial data / Li L, Wang J, Leung H, Jiang C. // Risk Analysis. – July 2010. – Vol.30, issue 7. – Pp. 1157-1175.
21. Guo W. Spatio-Temporal Graph Neural Network for Predicting Flow Fields on Unstructured Grids with the SUBOFF Benchmark / W. Guo, C. Cheng, C. Huang, Z. Lu, K. Chen, J.A. Ding // J. Mar. Sci. Eng. – 2025. – 13(9). – Pp. 1-23.

22. Таблицы методов оценки рисков HAZOP, FMEA, Bow-Tie: сравнение и применение. – Текст электронный /Компания Иннер Инжиниринг // INNER. – 2025. – URL.: <https://inner.su/articles/tablitsy-metodov-otsenki-riskov-hazop-fmea-bow-tie-sravnenie-i-primenenie/>.

23. Таран В.Н. Моделирование сложных (опасных) природных процессов при помощи сети доверия Байеса / В.Н. Таран // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2019. – № 2 (46), – С. 90–100.

24. Хуснутдинов А.О. Глубокое обучение для анализа многомерных временных рядов: систематизация типов данных, задач, архитектур и подходов / А.О. Хуснутдинов, В.И. Хабаров, В.С. Карманов // Системы анализа и обработки данных. – 2025. – № 3 (99). – С. 113-136.

25. Глобальный отраслевой стандарт управления хвостохранилищами. - Текст электронный. – URL.: https://globaltailingsreview.org/wp-content/uploads/2020/08/global-tailings-standard_spreads_RU.pdf.

26. Пресс-служба компании «Полюс». Какие технологии помогают избежать проблем на хвостохранилищах. - Текст электронный / Полюс // РБК. Тренды. – 2023. – URL.: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/crm/64d214719a7947491e6c51e6>.

27. Полюс и K2Tex: тренды рынка и актуальные решения для мониторинга хвостохранилищ. – Текст электронный / K2TEX // Цифровые решения для промышленности. –2024. – URL.: <https://k2.tech/events/aktualnye-resheniya-dlya-monitoringa-hvostohranilishch/>.

ОТОБРАЖЕНИЕ СЕРВИТУТОВ В ОФИЦИАЛЬНЫХ СЕРВИСАХ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

А.С. Хохрякова, Н.В. Осокина

Пермский государственный аграрно-технологический университет имени
академика Д.Н. Прянишникова,
г. Пермь

Аннотация. В статье исследуется визуализация сведений о сервитутах в цифровых сервисах Национальной системы пространственных данных (НСПД). Анализируются нормативно-правовая база, различия в отражении частных и публичных сервитутов, проблемы полноты данных и практические инструменты проверки недвижимости. Обоснована ключевая роль НСПД как единого окна доступа.

Ключевые слова: НСПД, сервитут, публичный сервитут, ЕГРН, Публичная кадастровая карта, Росреестр.

Введение. Цифровая трансформация земельно-имущественных отношений в РФ достигла нового уровня благодаря созданию НСПД – единой цифровой платформы с данными о недвижимости, границах и обременениях [5]. Особого внимания заслуживает отображение сервитутов, влияющих на стоимость и использование участков. Актуальность обусловлена активным

установлением публичных сервитутов при инфраструктурных проектах и переходом на централизованное внесение сведений в ЕГРН [3; 4]. Цель – анализ механизмов отображения сервитутов в НСПД, выявление ограничений и формулирование рекомендаций.

1. Правовая природа сервитутов и их отражение в ЕГРН. Сервитут – право ограниченного пользования чужим объектом недвижимости. Частный сервитут устанавливается по соглашению или решению суда и подлежит государственной регистрации в ЕГРН как обременение [1; 3]. Публичный сервитут устанавливается решением уполномоченного органа для общественных нужд и не требует регистрации как обременение, но вносится в ЕГРН в составе реестра границ [2; 3]. Письмо Росреестра от 19.12.2025 № 11-03394/25 разъясняет: отсутствие корректных кадастровых номеров не является основанием для отказа, если участок можно однозначно определить [6].

2. Архитектура НСПД и место сервитутов. НСПД – интеграционная платформа, объединяющая данные ЕГРН, ГИС градостроительной деятельности, лесного и водного реестров [5]. В рамках НСПД функционирует: Публичная кадастровая карта с визуализацией в реальном времени [6]. Сведения о сервитутах интегрированы на двух уровнях: атрибутивном (выписка из ЕГРН) и пространственном (границы зон сервитута на карте). Полноценное отображение границ возможно только при наличии описания местоположения [7].

3. Механизмы доступа к информации о сервитутах. Существует 3 способа: 1) Публичная кадастровая карта НСПД. По кадастровому номеру отображаются границы и факт наличия обременений [6]. 2) Выписка из ЕГРН. Предоставляет исчерпывающую информацию [3]. 3) API и автоматизированные сервисы. Для профессиональных участников существуют официальные API Росреестра [8].

4. Проблемы отображения сервитутов в НСПД. Существует ряд проблем таких как: 1) Неполнота пространственных данных. Для сервитутов отсутствует описание границ в цифровом формате [3; 7]. 2) Различия в учёте частных и публичных сервитутов. Публичные сервитуты вносятся в реестр границ без регистрационных действий, что создаёт правовую неопределённость [2; 3]. 3) Актуальность данных. Высокие темпы внесения создают риск отставания верификации [8]. Законодательство не регламентирует сроки проверки качества пространственных данных [7].

5. Перспективы развития НСПД. Внедрение инструментов пространственного анализа, сервисов предзаполнения заявлений для установления сервитутов, интеграция с порталом Госуслуг для уведомления собственников о предстоящем установлении публичных сервитутов [4; 6].

Выводы. НСПД выполняет функцию единого окна для получения информации о сервитутах [5; 6]. Различия в учёте частных и публичных сервитутов требуют от пользователей понимания двух форм ограничения прав [1; 2]. Основное ограничение – неполнота пространственных данных для сервитутов, установленных до цифрового описания границ [3; 7]. Для юридически значимых действий выписки из ЕГРН обязательны в использовании. [3].

Заключение. НСПД стала центральным инструментом информирования о сервитутах, однако ключевой проблемой остаётся неполнота пространственного отображения старых сервитутов [5; 7]. Требуется дальнейшее наполнение реестра границ и развитие уведомительных сервисов для собственников [4; 8].

Список литературы

1. Гражданский кодекс РФ (часть первая) от 30.11.1994 № 51-ФЗ.
2. Земельный кодекс РФ от 25.10.2001 № 136-ФЗ.
3. Федеральный закон от 13.07.2015 № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости».
4. Федеральный закон от 08.08.2024 № 317-ФЗ «О внесении изменений в статьи 11.10 и 39.15 Земельного кодекса РФ...».
5. Постановление Правительства РФ от 01.12.2021 № 2148 «Об утверждении государственной программы «Национальная система пространственных данных».
6. Письмо Росреестра от 19.12.2025 № 11-03394/25 «О рассмотрении обращения».
7. Письмо ППК «Роскадастр» от 06.02.2025 № 18-0265/25.
8. Письмо Росреестра от 13.10.2025 № 18-03621/25 по вопросу внесения изменений в ЕГРН о границе публичного сервитута.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ГРАНУЛЯЦИИ КАРБАМИДА

Р.Р. Максютов

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

Аннотация. Доклад направлен на создание автоматизированной системы для процесса гранулирования карбамида. Для создания проекта автоматизированной системы управления технологическим процессом грануляции карбамида необходимо провести анализ технологического цикла, определить ключевые параметры контроля и регулирования, обосновать места установки датчиков и исполнительных механизмов. Выполнить выбор технических средств автоматизации, включая датчики температуры, давления, уровня, расхода, влажности и плотности, а также контроллерного оборудования. Разработать структурные и функциональные схемы АСУТП, схему соединения внешних проводок и спецификацию оборудования, обеспечивающие повышение эффективности, безопасности и стабильности технологического процесса.

Введение

Автоматизация химических производств – важнейший фактор повышения производительности, качества продукции и безопасности. Процесс грануляции карбамида, широко применяемого в сельском хозяйстве удобрения, требует точного соблюдения технологических режимов. В работе поставлена задача создания АСУТП, обеспечивающей контроль и регулирование ключевых параметров, сигнализацию аварийных ситуаций, а также интеграцию современных технических средств автоматизации.

1. Описание технологического процесса

Процесс грануляции карбамида основан на распылении плава карбамида в кипящем слое с добавлением формальдегидмочевины (КФК) для повышения прочности гранул. Основные этапы: дозирование КФК, подача плава в гранулятор, грануляция, охлаждение, сортировка и дробление гранул, рециркуляция и мокрая очистка отходящих газов (блок-схема процесса грануляции карбамида представлена на Рис.1). Для управления процессом необходимо контролировать температуру, давление, уровень, расход, влажность и плотность на всех стадиях.

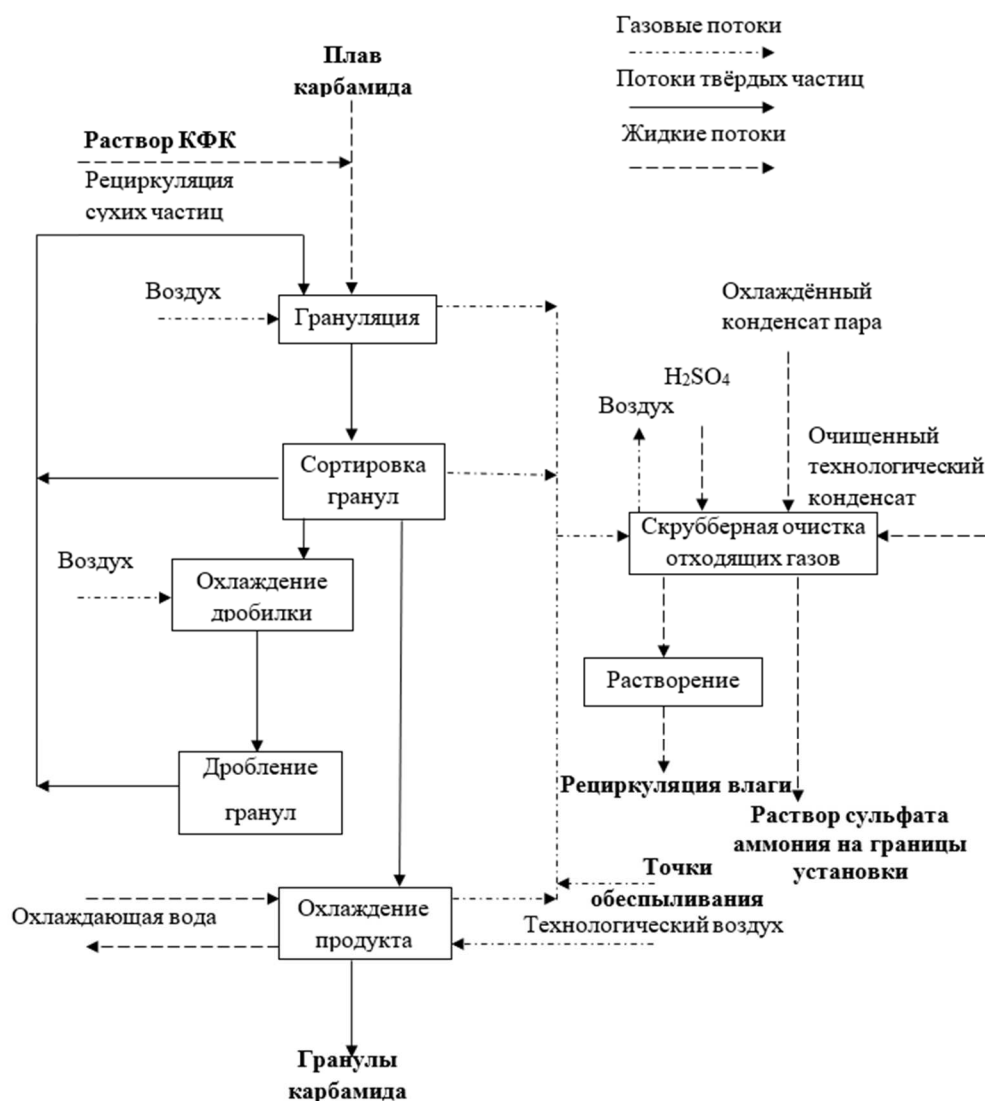


Рис. 1. блок-схема процесса грануляции карбамида

2. Обоснование выбора технических средств автоматизации

Для реализации АСУТП необходимо выполнить анализ и выбор средств измерения и управления, например:

Датчик температуры: платиновые термопреобразователи сопротивления ДТС035Е и ТС5008Ех с диапазоном до +250 °С и высокой точностью.

Датчик давления: интеллектуальные датчики DMP 331PI (0-16 бар) и АИР-20Ех/М2 для различных участков.

Датчик уровня: ультразвуковые сигнализаторы РИЗУР-2030 и датчики давления DMP 331PI.

Расходомеры: для жидкостей – кориолисовые расходомеры ЭМИС-МАСС 260; для гранул – вихревые расходомеры Лотос-10.

Датчик влажности: влагомер FIZEPR SW100.10.44 с диапазоном до +150 °С.

Плотномер: плотномер Сенсор ПМП-201.

Исполнительные механизмы: клапаны КР 132 (для плава), шиберные затворы серии В (для гранул), регулирующие клапаны КР-ТР.

Барьеры искрозащиты: ЛПА-151-201, ЛПА-310-200, ЛПА-800-200.

Контроллер: Prosoft Regul R500 с резервированием CPU, питания, шины и модулей ввода/вывода, поддержкой Modbus RTU/TCP, HART, OPC UA.

Необходимо сформировать спецификацию на все выбранные средства автоматизации с указанием типа, количества, производителя и технических характеристик.

3. Структурная схема АСУТП

Система строится по иерархическому принципу: нижний уровень – полевые приборы (датчики, исполнительные механизмы), средний – например, контроллер Prosoft Regul R500 с модулями ввода/вывода, верхний – сервер базы данных (PostgreSQL) и SCADA-система. Для передачи данных используется протокол OPC UA. Обеспечена защита технологической сети межсетевым экраном.

4. Схема соединения внешних электрических проводов

Сигналы от датчиков передаются по экранированным кабелям КВЭВнг(А)-LS до клеммных коробок, далее по магистральным кабелям КВЭВнг(А)-LS к шкафам СУ. В шкафах установлены барьеры искрозащиты и реле, подключённые к модулям ввода/вывода контроллера. Все коробки заземлены общей шиной.

Заключение

Для проектирования АСУТП грануляции карбамида необходимо разработать комплексную схему автоматизации установки грануляции карбамида. Определить параметры контроля и регулирования, обоснован выбор технических средств и контроллерного оборудования. Предложенные решения должны обеспечивать высокую надёжность, безопасность и эффективность управления технологическим процессом.

Список литературы

1. Горловский Д.М. Технология карбамида: учебник / Д.М. Горловский, Л.Н. Альтишулер, В.И. Кучерявый. – Л.: Химия, 1981. – 320 с.
2. Классен П.В. Гранулирование / П.В. Классен, И.Г. Гришаев, И.П. Шомин. – М.: Химия, 1991. – 240 с.
3. Кузьмин В.В. Технические средства автоматизации узлов коммерческого учета нефтей, нефтепродуктов и природного газа: учебник / В.В. Кузьмин, А.В. Чупаев, А.Н. Ахмерова // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2020. – 278 с.
4. Ивлев А.В. Разработка системы автоматизации абсорбционно-газофракционирующей установки / А.В. Ивлев, Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина // Инновационные наукоемкие технологии: доклады VII международной научно-практической конференции, Тула, 22 июня – 02 2020 года / Под общей редакцией В.М. Панарина. – Тула: Изд-во "Инновационные технологии", 2020. – С. 4-7.

ИНТЕГРАЦИЯ SCADA-СИСТЕМ С КОРПОРАТИВНЫМИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Д.И. Сиразетдинов

Ульяновский государственный технический университет,
г. Ульяновск

***Аннотация.** В данной статье рассматриваются проблемы интеграции SCADA-систем с различными корпоративными информационными системами предприятия – ERP, MES, системами пожаротушения и видеонаблюдения. Описаны некоторые инструменты, способные облегчить такую интеграцию в уже имеющуюся инфраструктуру информационной системы.*

SCADA-система – это программно-аппаратный комплекс для диспетчерского управления и сбора данных в реальном времени. Система обеспечивает непрерывный мониторинг технологических процессов, архивирование информации и возможность оперативного реагирования на аварийные ситуации на территориально распределенных производственных объектах.

ERP-система – это комплексная программная платформа для управления всеми ключевыми бизнес-процессами компании в единой информационной среде.

MES-система – это программный комплекс для оперативного управления, контроля и оптимизации производственных операций в режиме реального времени.

Согласно международному стандарту ISA-95/IEC 62264 SCADA-система занимает нижний (второй) уровень оперативного управления в иерархии корпоративной информационной системы (КИС). Основными функциями данной системы являются: сбор данных в реальном времени, визуализация

процессов через HMI (человеко-машинный интерфейс), дистанционное управление оборудованием, аварийная сигнализация и оповещение об нештатных ситуациях, архивирование данных, первичная обработка данных и обеспечение интерфейса для интеграции с вышестоящими системами в иерархии ISA-95.

Выделяют два типа архитектуры интеграции SCADA с другими системами: двух- и трёхуровневую.

Двухуровневая система взаимодействия предполагает связь двух основных компонентов. Например, связь SCADA и MES. В такой архитектуре SCADA отвечает за сбор данных с оборудования (датчиков, ПЛК), визуализацию процессов, управление в реальном времени и аварийную сигнализацию, а MES выполняет функции оперативного управления производством: планирование, диспетчеризацию, контроль качества, учёт ресурсов. Преимуществами такой системы можно выделить её простоту исполнения, снижение сложности интеграции в уже имеющиеся системы.

Трёхуровневая система предполагает добавление ещё одного уровня для улучшения гибкости, масштабируемости и функциональности всей системы управления предприятиями. В роли такой структуры может выступать система ERP – MES – SCADA. Роли и функции SCADA и MES в данном случае сохраняются, а ERP отвечает за выдачу производственных заказов и планов на ресурсы.

Интеграция SCADA-системы с системами пожаротушения и видеонаблюдения позволяет создать единую платформу для мониторинга, управления и реагирования на чрезвычайные ситуации. Это повышает эффективность безопасности объекта, упрощает работу оператора и минимизирует риски.

Интеграция SCADA-систем с корпоративными информационными системами (ERP, MES), а также с системами пожаротушения и видеонаблюдения сопряжена с рядом технических, организационных и методологических проблем. Эти сложности связаны с различиями в стандартах, архитектуре, требованиях к данным и бизнес-процессам.

В качестве основных проблем в интеграции SCADA с ERP можно выделить:

- Разные стандарты данных и форматы;
- Несоответствие мастер-данных;
- Разная частота обновления данных;
- Архитектурные ограничения;
- Кибербезопасность.

Основными сложностями в интеграции SCADA с MES являются:

- Несогласованность протоколов;
- Временные характеристики обработки данных;
- Объёмы данных;
- Надёжность оборудования.

Закрытые протоколы, несогласованность логик и кодировок, необходимость паспортизации параметров, требования к резервированию приводят к возможным трудностям совместной работы систем видеонаблюдения и пожаротушения со SCADA.

Кроме проблем интеграции SCADA-систем с конкретными системами, можно выделить общие трудности согласованной работы SCADA с другими системами управления:

- Ограниченная поддержка видеопотоков в SCADA;
- Проблемы с ActiveX-объектами;
- Объем данных и трафик;
- Безопасность и сегментация сети;
- Законодательные требования.

Для облегчения интеграции SCADA-систем с корпоративными информационными системами (ERP, MES), системами пожаротушения и видеонаблюдения существуют различные инструменты и технологии. Они позволяют преодолеть проблемы разнородности протоколов, форматов данных и архитектур:

- Использование OPC-стандартов;
- Шлюзы протоколов, преобразующие данные из одного протокола в другой;
- Специализированные конвертеры;
- Драйверы и компоненты, способные реализовать интеграцию на программном уровне;
- Интеграционные платформы.

В ходе работы был проведён анализ интеграции SCADA-систем с корпоративными информационными системами (ERP, MES), а также с системами пожаротушения и видеонаблюдения. Интеграция SCADA с корпоративными и специализированными системами – это сложный, но необходимый процесс для повышения эффективности управления предприятием. Грамотное применение современных инструментов и технологий позволяет преодолеть существующие проблемы и создать единую, надёжную и масштабируемую информационную среду.

Список литературы

1. Кангин В.В. *Разработка SCADA-систем.* – 2-е изд. / В.В. Кангин, М.В. Кангин, Д.Н. Ямолдинов. – М.: Инфра-инженерия, 2024. – 564 с.
2. Андреев Е.Б. *SCADA-системы: взгляд изнутри* / Е.Б. Андреев, Н.А. Куцевич, О.В. Синенко. – М.: РТСофт, 2004. – 176 с.
3. Иванов В.Э. *Практическое проектирование систем управления в SCADA TRACE MODE 6: учебное пособие* / В.Э. Иванов. – М.: Инфра-Инженерия, 2025. – 232 с.

ОГРАНИЧЕНИЯ КОНТАКТНЫХ И БЕСКОНТАКТНЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ НАТЯЖЕНИЯ НИТИ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ

Д.Э. Шубин, Т.Л. Егорова, В.Я. Энтин
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
г. Санкт-Петербург

***Аннотация.** В данной статье приводится обзор современных научных публикаций в сфере регулирования натяжения в текстильной и легкой промышленности. В статье показано, что современные методы регулирования натяжения все более отходят от прямых измерений натяжения ввиду их ограниченности. Всё чаще исследователи используют комбинированные или чисто виртуальные измерения, основанные на математических моделях исследуемых систем.*

Натяжение нити является одним из ключевых параметров текстильного процесса, непосредственно влияющих на обрывность, равномерность формирования структуры материала и стабильность работы оборудования. По мере роста скоростей намотки, размотки и переработки возрастают требования не только к точности, но и к быстродействию систем измерения и регулирования натяжения. В этих условиях традиционные методы прямого измерения, широко применяемые в промышленности, начинают проявлять ограничения, связанные с их механической, динамической и эксплуатационной природой.

Наиболее распространенным решением остаются контактные тензометрические датчики, в которых нить взаимодействует с измерительным роликом или направляющим элементом, а сила натяжения преобразуется в электрический сигнал с помощью тензорезисторов или аналогичных чувствительных элементов. Однако такой датчик представляет собой не идеальный измеритель, а механическую систему типа «масса-упругость-демпфирование». Собственная частота подобной системы ограничивается компромиссом между жесткостью и чувствительностью: повышение жесткости улучшает динамические свойства, но ухудшает чувствительность, тогда как снижение массы возможно лишь до определенного предела из-за необходимости установки направляющих и элементов проводки нити. В работе [1] показано, что добавление направляющего элемента способно заметно снизить собственную частоту датчика, а при росте скорости движения нити до 800 м/мин расхождение результатов измерения может достигать 20-25 %. Это означает, что в высокودинамичных режимах датчик начинает регистрировать не только собственно натяжение, но и колебательные процессы, возникающие в механической системе измерителя и в самой движущейся нити.

Дополнительной проблемой контактных методов является необходимость изменения траектории нити. Для получения измеримого сигнала нить должна огибать ролик или проходить через специальную измерительную схему, что увеличивает число точек контакта, добавляет трение и локальные перегибы. На умеренных скоростях это допустимо, однако в высокоскоростных процессах

любое дополнительное механическое воздействие способно влиять на качество продукта и на сам измеряемый параметр. Иными словами, измерительная система становится частью объекта управления и начинает вносить в него собственные возмущения.

Отдельный класс средств стабилизации натяжения образуют ролики-компенсаторы натяжения (танцующий ролик, dancer roll). Их важное достоинство состоит в буферировании запаса материала и сглаживании медленных возмущений, что делает их полезными в намоточных и размоточных узлах. Однако такая система в большинстве случаев контролирует прежде всего положение подвижного ролика, а не натяжение как таковое. При этом на ее поведение влияют масса ролика, трение, демпфирование, геометрия проводки и способ создания противодействующей силы [2]. В литературе отмечается, что пассивные ролики-компенсаторы ограничены как средство измерения натяжения, а для подавления высокочастотных возмущений более эффективными оказываются активные схемы, что неизбежно повышает сложность системы [3]. Следовательно, ролики-компенсаторы следует рассматривать скорее, как элемент механического согласования и демпфирования, чем как универсальный высокоточный измеритель натяжения.

Интересной альтернативой являются бесконтактные методы, основанные на анализе поперечных колебаний нити с использованием оптических, лазерных, емкостных или ультразвуковых средств. Их сильная сторона очевидна: отсутствие прямого механического контакта с нитью исключает дополнительную нагрузку на материал и снижает риск повреждения поверхности или роста ворсистости. Однако и здесь существуют принципиальные ограничения. Во-первых, такие методы опираются на модель движущейся нити и требуют знания линейной плотности, длины колеблющегося участка и граничных условий. Во-вторых, при реализации в реальном времени возникают ограничения по вычислительной производительности и дискретности оценки. В работе [4] прямо указано, что при использовании только машинного зрения быстродействие системы ограничивается обработкой изображений, а при увеличении частоты выдачи оценок результаты становятся прерывистыми. Характерно, что для повышения практической пригодности авторы были вынуждены объединить машинное зрение с наблюдателем натяжения, то есть фактически перейти от чисто прямого измерения к гибридной схеме оценки.

Показательно, что даже в системах, где применяются классические датчики нагрузки, для повышения качества регулирования приходится использовать фильтрацию, наблюдатели возмущений и модельные алгоритмы компенсации. Так, в [5] отмечено, что шум датчика напрямую ухудшает качество регулирования натяжения, а применение фильтра Калмана и наблюдателя возмущений позволяет уменьшить ошибку и повысить робастность системы. Проблема современных систем контроля натяжения заключается уже не только в выборе «лучшего датчика», а в том, что одного лишь прямого измерения недостаточно для работы в условиях быстрых переходных процессов и помех.

Сравнение методов измерения натяжения нити

Метод	Преимущества	Ограничения	Область рационального применения
Тензометрические ролики	Простота реализации, прямое измерение силы, промышленная распространённость	Инерционность, собственные колебания измерительного узла, необходимость изменения траектории нити, износ механических элементов	Умеренные скорости, стационарные режимы
Ролики компенсаторы	Буферирование запаса материала, сглаживание медленных возмущений	Низкое быстродействие, зависимость от механики узла, ограниченная пригодность для точного измерения высокочастотных колебаний	Намотка/размотка, грубая стабилизация натяжения
Оптические и бесконтактные методы	Отсутствие механического контакта с нитью, снижение паразитного воздействия на материал	Чувствительность к условиям среды, зависимость от модели объекта, высокая вычислительная сложность	Специализированные системы, лабораторные и исследовательские задачи
Косвенные и гибридные методы оценки	Возможность повышения быстродействия, снижение зависимости от механики датчика, интеграция с алгоритмами управления	Требуют адекватной модели объекта и алгоритмического обеспечения	Высокоскоростные и высокодинамичные процессы

Таким образом, анализ литературы показывает, что как контактные, так и бесконтактные методы прямого измерения натяжения сохраняют практическую ценность, но в высокоскоростных текстильных процессах сталкиваются с объективными динамическими и эксплуатационными ограничениями. Поэтому перспективным направлением является переход к косвенным и гибридным методам оценки натяжения, использующим математические модели, наблюдатели состояния и анализ электромеханических параметров приводной системы. Именно такой подход представляется наиболее обоснованным для дальнейшего повышения быстродействия и точности систем управления натяжением нити.

Список литературы

1. Eren R., Mutlu H.N., Çelik Ö. *Design and Realisation of a Yarn Tension Sensor Using Strain Gauge Type Load Cells // Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering.* – 2019. – Vol. 24, No. 2. – P. 751–766.
2. Kang H.-K., Lee C.-W., Shin K.-H., Kim S.-C. *Modeling and Matching Design of a Tension Controller Using Pendulum Dancer in Roll-to-Roll Systems // IEEE Transactions on Industry Applications.* – 2011. – Vol. 47, No. 4. – P. 1558-1566
3. Huang P.-Y., Cheng M.-Y., Su K.-H., Kuo W.-L. *Control of Roll-to-Roll Manufacturing Based on Sensorless Tension Estimation and Disturbance Compensation // Journal of the Chinese Institute of Engineers.* – 2021. – Vol. 44, No. 2. – P. 89-103.
4. Ji Y., Ma J., Zhou Z., Li J., Song L. *Dynamic Yarn-Tension Detection Using Machine Vision Combined with a Tension Observer // Sensors.* – 2023. – Vol. 23. – Art. 3800.
5. Neaz A., Lee E.H., Jin T.H., Cho K.C., Nam K. *Optimizing Yarn Tension in Textile Production with Tension–Position Cascade Control Method Using Kalman Filter // Sensors.* – 2023. – Vol. 23. – Art. 5494.

БЕССЕНСОРНЫЙ ПРЕДИКТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ КАК МЕТОД СНИЖЕНИЯ СКРЫТЫХ ЭНЕРГОПОТЕРЬ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Д.Э. Шубин, Т.Л. Егорова
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
г. Санкт-Петербург

Аннотация. Традиционные подходы к обслуживанию промышленного оборудования демонстрируют фундаментальную экономическую несостоятельность. В статье доказано, что внедрение алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) и промышленного интернета вещей (IIoT) способно сократить внеплановые простои на 45% и снизить прямое энергопотребление на 35%. В условиях санкционных ограничений РФ критическим вектором развития становится внедрение бессенсорной аналитики токов, не требующей масштабного переоснащения станков.

Легкая промышленность исторически потребляет колоссальные объемы энергоресурсов, занимая более 25 % в мировом промышленном энергобалансе [1]. Реактивная стратегия ремонта (восстановление после фактической поломки) и плановое обслуживание абсолютно убыточны в эпоху высокоинтенсивного производства. Каждая внезапная остановка и последующий перезапуск тяжелых технологических линий сопровождаются потерей накопленного тепла и расходом пиковых пусковых токов. Выживание предприятий и сохранение рентабельности требуют безальтернативного перехода к системам предиктивного мониторинга на базе синергии ИИ и IIoT.

Физика потерь и математический аппарат оптимизации

Механическая деградация оборудования (износ подшипников, дисбаланс роторов) неизбежно ведет к росту внутреннего трения. Система управления двигателем автоматически компенсирует это сопротивление, повышая потребляемую силу тока. Эта избыточная энергия не совершает полезной работы, а рассеивается в виде паразитного тепла и шума, формируя скрытое энергопотребление [2].

При скрытой деградации оборудования фактическая потребляемая мощность превышает номинальную паспортную. Интегральный объем энергетических потерь выражается уравнением:

$$\Delta E_{\text{ном}} = \int_0^t (P_{\text{факт}}(t) - P_{\text{ном}}) dt \quad (1)$$

где

$P_{\text{факт}}(t)$ – фактическая потребляемая мощность в момент времени t ;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная паспортная мощность оборудования

Рассмотрим типовой асинхронный электропривод механизма натяжения прядильного или ткацкого станка.

– Номинальная мощность двигателя: $P = 1,5$ кВт.

– Годовой фонд рабочего времени при непрерывном производстве: $t = 8000$ часов.

– Промышленный тариф на электроэнергию: $Ц_{\text{э}} = 7,5$ руб/кВт*ч.

– Количество приводов на производственном участке: $N = 100$ шт

При износе подшипников направляющих роликов или загрязнении тракта механическое сопротивление возрастает. ПИД-регулятор системы автоматического управления, стремясь поддержать заданный момент и натяжение, пропорционально увеличивает ток статора.

Допустим, скрытый рост потребляемой мощности из-за трения составил 10 %, то есть фактическая мощность достигла $P_{\text{факт}} = 1,65$ кВт.

По уравнению (1) посчитаем перерасход энергии на один двигатель:

$$\Delta E_{\text{ном}} = (1.65 - 1.5) \cdot 8000 = \frac{1200 \text{ кВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}$$

В масштабах цеха на 100 приводов прямые потери в виде рассеянного паразитного тепла составят 120 000 кВт·ч. В финансовом выражении это 900 000 руб., которые предприятие ежегодно тратит на «нагрев воздуха».

Оптимальным решением является внедрение бессенсорных методов управления на базе теории автоматического управления [3]. Суть метода заключается в оценке механического состояния системы исключительно путем высокочастотного анализа токов и напряжений в цепи питания асинхронного электродвигателя.

Анализ гармоник тока позволяет не только поддерживать заданное натяжение без установки хрупких физических датчиков в рабочей зоне станка,

но и предиктивно выявлять зарождающиеся дефекты механики. Развертывание таких систем возможно на базе доступных микроконтроллеров, осуществляющих вычисления непосредственно в шкафу управления [4].

При использовании такого метода, затраты на модернизацию радикально ниже классических АСУ ТП. Аппаратный комплекс на базе дешевых контроллеров (например, ESP32/STM32 с АЦП для токовых трансформаторов) и базовыми модулями обвязки обойдется примерно в 5000 руб. на один измерительный узел.

Общие капитальные затраты составят

$$K = 5000 \frac{\text{руб}}{\text{шт}} \cdot 100 \text{ шт} = 500000 \text{ руб.}$$

Для оценки экономической эффективности воспользуемся формулой (2) [5]:

$$\Delta\Pi_0 = 0.55 \cdot \alpha_E \cdot C_E \cdot W - 0.22K \quad (2)$$

где

α_E – доля экономии ресурса от общего расхода

C_E – стоимость единицы сэкономленного ресурса

W – годовое потребление ресурса

K – капитальные затраты, руб.

Примем в качестве ресурса электрическую мощность, подставим в (2) и получим:

$$\Delta\Pi_0 = 0.55 \cdot 0.1 \cdot 7.5 \cdot 1200000 - 0.22 \cdot 500000 = 495000 - 110000 = 385000 \text{ руб.}$$

Прирост годовой прибыли только за счёт предотвращения работы двигателей в режиме компенсации избыточного трения составляет 385 000 руб. Расчёт не учитывает мультипликативный эффект от предотвращения простоев и снижения брака продукции из-за обрывов нити, что на практике увеличивает итоговую рентабельность системы.

Стоит отметить, что предлагаемая модель учитывает не только прямую экономию электроэнергии, но и оптимизацию эксплуатационных затрат. В отличие от реактивного подхода, где стоимость замены вышедшего из строя оборудования включает в себя полную стоимость узла и убытки от простоя, предиктивное управление позволяет ограничиться заменой отдельных компонентов на ранних стадиях износа.

Проведенный анализ и математические расчеты доказывают, что предиктивный мониторинг – это критический инструмент экономического выживания предприятий легкой промышленности. Переход от реактивного обслуживания к бессенсорной аналитике токов позволяет ликвидировать скрытые потери энергии на преодоление избыточного трения до стадии критического отказа оборудования.

Развертывание доступных микроконтроллерных систем окупается менее чем за год, принося сотни тысяч рублей чистой прибыли локальному участку

только за счет экономии потребляемой электрической мощности. В условиях технологических и санкционных ограничений именно массовое внедрение бессенсорной диагностики обеспечивает реальную энергоэффективность парка унаследованного оборудования без необходимости серьезных капитальных инвестиций.

Список литературы

1. *Energy-Efficient Prediction in Textile Manufacturing: Enhancing Accuracy and Data Efficiency With Ensemble Deep Transfer Learning* / A. Smith [et al.] // *Deakin University Journal of Engineering*. – 2026. – Vol. 12, Iss. 2. – P. 112-125.
2. Горшков А.С. Математическое моделирование нестационарной теплопередачи для задач энергосбережения в легкой промышленности / А.С. Горшков // *Промышленная энергетика*. – 2022. – № 8. – С. 34-41.
3. Афанасьев А.А. Методология цифровизации и технологического обновления промышленного производства / А.А. Афанасьев // *Экономика и управление в машиностроении*. – 2023. – № 4. – С. 15-22.
4. *A Review of the Transition from Industry 4.0 to Industry 5.0: Unlocking the Potential of TinyML in Industrial IoT Systems* / J. Doe, R. Roe // *MDPI Sensors*. – 2026. – Vol. 26. – Art. 4501.
5. Чистяков Н.Е. Оценка эффективности программ промышленного предприятия по энергосбережению: магистерская диссертация / Н.Е. Чистяков; науч. рук. И.С. Пельмская. – Екатеринбург: УрФУ, 2021. – 121 с.

АСУТП РЕГЕНЕРАЦИИ ФУРФУРОЛА

А.В. Шурганов

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

Аннотация. В рамках данной статьи рассмотрена разработка автоматизированной системы управления процессом регенерации фурфурола. Рассмотрена технология производства, определены технологические параметры, подлежащие контролю и регулированию. Приведен оптимальный выбор контроллерного оборудования.

Фурфурол – гетероциклический альдегид фуранового ряда. Свежеполученный фурфурол представляет собой бесцветную, сильно преломляющую свет жидкость с приятным запахом ржаного хлеба. Из сырья, поступающего на очистку фурфуролом, необходимо удалять воздух (деаэрировать). Регенерировать фурфурол из рафинатного и экстрактного растворов лучше в вакууме, чтобы обеспечить более мягкий температурный режим перегонки [1]. Так как фурфурол является пожароопасным компонентом, то для исключения возможности образования взрыва или пожара при его регенерации необходимо использовать взрывозащищенное оборудование.

Технологический процесс регенерации фурфурола состоит из следующих стадий: регенерация фурфурола из рафинатного раствора, регенерация

фурфурола из экстрактного раствора и регенерация фурфурола из водных растворов. Процессы регенерации осуществляются при помощи отпарных и ректификационных колонн [2].

На рисунке 1 представлена функциональная схема процесса регенерации фурфурола.

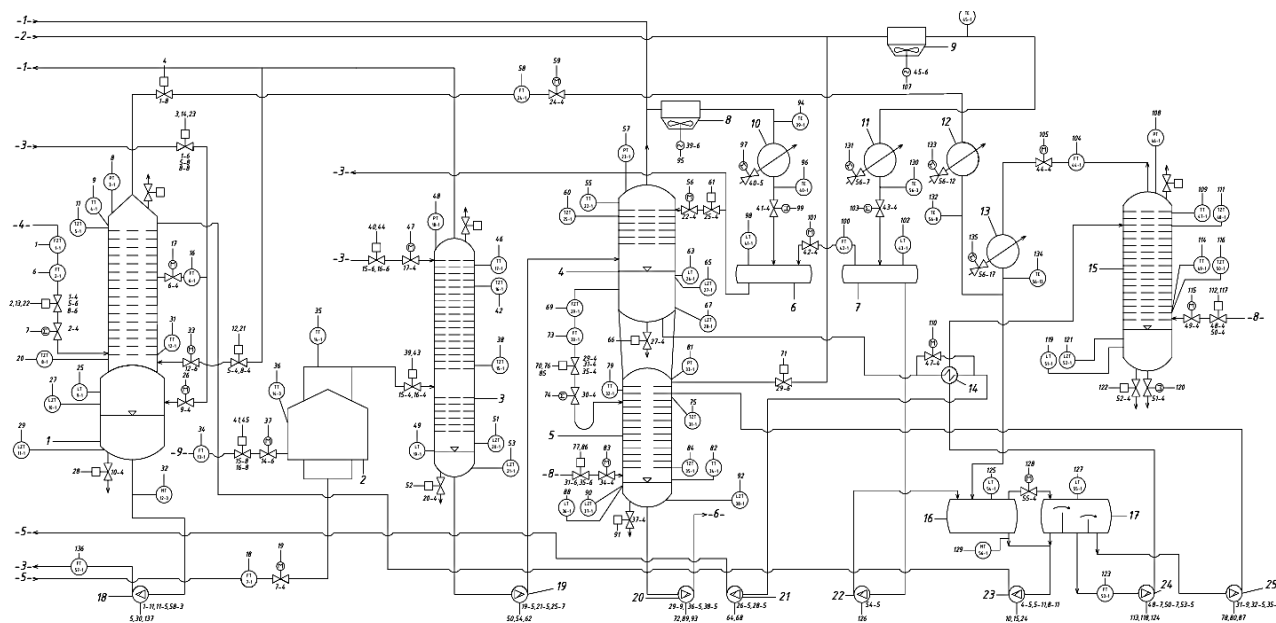


Рис. 1. Схема АСУТП регенерации фурфурола

Для повышения эффективности и безопасности протекания технологического процесса необходимо определить параметры, подлежащие контролю, регулированию, сигнализации и защите. Такими параметрами являются давление, расход, температура, уровень. Также определяющим параметром является влажность отрегенированного фурфурола. Для контроля за данными параметрами используются следующие датчики: термопреобразователи сопротивления (ДТС035Е), тензометрические датчики давления (АИР-20Ех/М2), емкостные уровнемеры (Dinel CLM-36), вихревые расходомеры (ЭВ-200) и другие.

Для реализации функций сбора и обработки информации, а также последующей выдачи управляющих воздействий на исполнительные устройства был выбран контроллер SUPCON ECS-700 от фирмы SUPCON [3]. Данный контроллер обладает рядом преимуществ:

- Поддержка языков программирования стандарта МЭК 61131-3;
- Поддержка большого количества протоколов передачи данных, включая Modbus, Profibus, OPC;
- Полное резервирование модулей и сетей передачи информации, позволяющее выполнить «горячую» замену вышедшего из строя оборудования;
- Поддержка HART;
- Наличие собственной среды разработки человеко-машинного интерфейса.

Выбор контроллера SUPCON ECS-700 позволит повысить эффективность и безопасность протекания технологического процесса.

Таким образом, разработанная автоматизированная система управления позволит повысить эффективность получения фурфурола из растворов экстракта и рифината, повысить надежность и безопасность протекания технологического процесса, а также позволит более точно контролировать все технологические параметры установки [4].

Список литературы

1. Очистка фурфуролом: Электронный ресурс [URL]: https://nec-ton-sea.ru/articles/ochistka_furfurolom_%28harakteristika_rastvoritelya%29/
2. Бондаренко Б.И. Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа. Б.И. Бондаренко – М.: Химия, 1983. – 128 с., нл.
3. Промышленные решения SUPCON: Электронный ресурс [URL]: <https://www.supcon.kz/>
4. Ивлев А.В. Разработка системы автоматизации абсорбционно-газофракционирующей установки / А.В. Ивлев, Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина // Инновационные наукоемкие технологии: Доклады VII международной научно-практической конференции, Тула, 22 июня – 02 2020 года / Под общей редакцией В.М. Панарина. – Тула: Изд-во "Инновационные технологии", 2020. – С. 4-7.

ОСОБЕННОСТИ СОПРЯЖЕНИЯ И НАСТРОЙКИ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА ОВЕН ПЛК210 С МОДУЛЯМИ ВВОДА-ВЫВОДА

Н.Р. Фахриев

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

Аннотация. ПЛК210 – отечественный контроллер, применяемый для контроля, регулирования и управления в системах среднего и малого масштаба. В докладе описаны практические и теоретические аспекты сопряжения и настройки программируемого логического контроллера ПЛК210 с модулями ввода-вывода.

Контроллер имеет различные интерфейсы подключения:

- 4 порта Ethernet
- 2 порта RS-485
- 1 порт RS-232 (RJ45)
- 1 порт micro USB для конфигурирования
- 1 разъем Micro SD для расширения памяти и резервирования данных

Для корректного обмена данными необходимо установить сетевые настройки. ПЛК предполагает широкий спектр сетевых настроек.

Задание сетевых параметров производится с помощью веб-конфигуратора. Для настройки параметров ПЛК необходимо подключиться с помощью

комплектного micro USB кабеля к ПЛК, войти в веб-конфигуратор, меню «Сеть» – «Интерфейсы». По умолчанию веб-конфигуратор ОВЕН имеет IP-адрес 172.16.0.1. Устройство, с помощью которого происходит подключение, должно работать в режиме DHCP-клиента. Ниже представлены заводские данные для входа в меню веб-конфигуратора:

Логин – root, пароль – owen

Интерфейсы

USB0  usb0	Протокол: Статический адрес MAC: Получение (RX): 0 Б (0 пакетов) Передача (TX): 0 Б (0 пакетов)	Перезапустить Остановить Изменить Удалить
LAN  br-lan	Протокол: Статический адрес Время работы: 15ч 10м 19с MAC: Получение (RX): 638.51 МБ (10942607 пакетов) Передача (TX): 795.91 МБ (10953543 пакетов) IPv4:	Перезапустить Остановить Изменить Удалить
WAN  eth4	Протокол: Статический адрес Время работы: 15ч 10м 19с MAC: Получение (RX): 57.53 МБ (779389 пакетов) Передача (TX): 86.33 МБ (1222574 пакетов) IPv4:	Перезапустить Остановить Изменить Удалить

Рис. 1. Меню сетевых настроек ПЛК210

На изображении представлен пример конфигурации, при которой порты 1-3 объединены в одну сеть, к ним подключаются опрашиваемые slave-устройства, такие как модули ввода-вывода и сторонние устройства регулирования.

Порт eth4 используется для вывода информации в SCADA по протоколу OPC-UA и имеет другую сеть. Настройки порта usb0 (micro USB) не менялись.

В качестве интерфейса для обмена данными с модулями ввода-вывода Mx210 используется Ethernet. Модули имеют по 2 порта RJ-45 для «каскадного» подключения.



Рис. 2. Топология сети «Каскад»

В случае применения такой архитектуры, все модули, объединенные в каскад, должны относиться к той же подсети, иметь ту же маску подсети и шлюз, что и порт, к которому они подключены.

Конфигурирование сетевых настроек модулей ввода-вывода, а также иных важных настроек, таких как тип сигнала подключаемого датчика, диапазон преобразования, производится с помощью специализированного ПО Owen Configurator после подключения патч-корда в один из портов Ethernet, или с помощью кабеля micro usb.

В случае отсутствия возможности установки Owen Configurator, или невозможности подключения устройства с данным ПО, конфигурацию сетевых настроек модулей ввода-вывода возможно произвести по Modbus TCP.

Заводские сетевые настройки модулей серии Mx210:

IP-адрес – 192.168.1.99, маска подсети – 255.255.0.0, шлюз – 192.168.1.1

Modbus-карты приведены в руководстве по эксплуатации на модули.

Настройки аналоговых модулей, такие как тип сигнала, диапазон преобразования, фильтрация, период опроса могут быть заданы как в Owen Configurator, так и в среде разработки проекта Codesys v. 3.5. В этом же меню выбирается настройка приоритетности – приоритет отдается настройкам модуля (записаны через Owen Configurator) или настройкам из Codesys.

Модули ввода-вывода, а также ПЛК могут иметь динамический IP-адрес. Для этого в настройках модуля необходимо выбрать пункт «DHCP-клиент».

Список литературы

1. Руководство по эксплуатации ПЛК210-1х и ПЛК210-4G: [Электронный ресурс] URL: <https://docs.owen.ru/product/plk210/1125/104003#topic-104003>

2. Руководство по эксплуатации MB210-101: [Электронный ресурс] URL: https://docs.owen.ru/product/moduli_analogovogo_vvoda_s_universal_nimi_vhodami_ethernet_mv210/917/114916#topic-114916

НЕОБХОДИМОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТА ПО ПРОИЗВОДСТВУ КАТАЛИЗАТОРА Н-БУТИЛЛИТИЯ

А.А. Верин

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

Аннотация. В работе рассматривается важность применения автоматической системы пожаротушения для объекта по производству катализатора на основе n-бутиллития. Высокая пожарная опасность связана с принадлежностью таких соединений к металлосодержащим и пирофорным веществам, которые могут относиться к пожарам класса D. Автоматическое пожаротушение позволяет сократить время реакции на возгорание, локализовать очаг на ранней стадии и снизить риск развития аварии на технологическом объекте. Для подобных производств особенно важно сочетание автоматических установок, инертирования, отсеки реагента и применения специальных огнетушащих средств.

n-Бутиллитий и сходные литийорганические соединения относятся к особо опасным реагентам, поскольку они могут бурно реагировать с влагой и воздухом, а при воспламенении требуют специальных способов тушения. Для производства катализатора на их основе это особенно критично, так как технологический процесс включает хранение, дозирование, перекачку и переливы, где вероятность утечки или воспламенения возрастает. В таких

условиях ручное реагирование может оказаться недостаточно быстрым, поэтому автоматическая система пожаротушения становится важнейшим элементом защиты.

Автоматическая система пожаротушения важна прежде всего тем, что она начинает работу без участия человека. Это особенно ценно на объектах с опасными реагентами, где каждая секунда имеет значение. При обнаружении признаков возгорания система может сразу подать огнетушащий состав, локализовать очаг и не допустить распространения огня.

Преимущества автоматических систем пожаротушения:

- Быстрое реагирование на возможные пожары – системы пожаротушения могут быстро и эффективно реагировать на возможные пожары, минимизируя риск ущерба для имущества и здоровья людей. Это особенно важно на промышленных объектах, где происходит множество процессов, которые могут привести к возникновению пожара.

- Надежность – автоматические системы пожаротушения являются одним из наиболее надежных способов защиты промышленных объектов от возможных пожаров. Они работают круглосуточно, без прерываний, и могут быть настроены для автоматического включения при обнаружении дыма или высокой температуры.

- Разнообразие методов тушения – системы пожаротушения используют различные методы для тушения пожара, включая применение воды, пены, порошка и газов.

- Универсальность – системы пожаротушения могут быть установлены как на открытом воздухе, так и внутри зданий и сооружений. Они могут работать в самых разных условиях, что делает их универсальными средствами защиты от пожара на любых объектах.

- Обеспечение безопасности – применение автоматических систем пожаротушения является необходимым условием для обеспечения безопасности на промышленных объектах. Они помогают минимизировать риск возникновения пожаров и защищать имущество и здоровье людей.

Особое значение имеет выбор огнетушащего вещества. Для объектов, связанных с *n*-бутиллитием, недопустимо применение воды как основного средства тушения, а для пожаров класса D требуются специальные решения. В российских нормативных источниках указано, что пожары, связанные с горением металлов и металлоорганических соединений, относятся к классу D, а для их тушения применяются специальные порошки и иные предназначенные для этого средства. На практике это требует тщательного проектирования, испытаний и строгого учета химической совместимости.

Таким образом, автоматическая система пожаротушения для объекта по производству катализатора *n*-бутиллития является важнейшим звеном промышленной безопасности. Она обеспечивает быстрое реагирование, снижает вероятность тяжелых последствий, защищает персонал и оборудование, а также повышает устойчивость всего производства к аварийным ситуациям. В условиях работы с пиррофорными и реакционноспособными веществами именно

автоматизация пожарной защиты становится одним из главных факторов надежной и безопасной эксплуатации объекта.

Список литературы

1. СП 485.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.
2. ГОСТ 27331-87. Пожарная техника. Классификация пожаров.
3. ГОСТ Р 51091-97. Установки порошкового пожаротушения автоматические. Типы и основные параметры.
4. ГОСТ Р 50800-95. Установки пенного пожаротушения автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний.
5. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
6. ГОСТ Р 53280.4-2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования и методы испытаний.

ОСОБЕННОСТИ СОПРЯЖЕНИЯ И НАСТРОЙКИ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА REGUL R500 С МОДУЛЯМИ ВВОДА-ВЫВОДА

И.И. Ахманов, Р.К. Нургалиев

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

***Аннотация.** В статье рассмотрены особенности сопряжения и настройки отечественного программируемого логического контроллера REGUL R500 с модулями ввода-вывода. Описаны интерфейсы подключения, порядок конфигурирования сетевых параметров в среде разработки Astra.IDE, основные параметры настройки модулей аналогового и дискретного ввода-вывода. Отмечены ключевые особенности архитектуры контроллера: поддержка «горячей» замены модулей и резервирование на сдвоенной шине RegulBus.*

REGUL R500 – отечественный программируемый логический контроллер блочно-модульного типа, предназначенный для построения ответственных, отказоустойчивых и распределённых систем автоматизации. Контроллер внесён в Реестр российской промышленной продукции. Статья посвящена практическим и теоретическим аспектам сопряжения и настройки ПЛК REGUL R500 с модулями ввода-вывода.

Контроллер имеет блочно-модульную конструкцию. Состав интерфейсов зависит от типа установленного модуля центрального процессора (ЦП):

- порты Ethernet 100/1000 Мбит/с (RJ-45, до 4 портов);
- порты Ethernet 100/1000 Мбит/с (оптоволокно SFP, до 2 портов);
- интерфейс RS-232;
- интерфейс RS-485;
- порт USB 2.0 (до 2 портов);

- слот для карт памяти SDHC (до 32 ГБ);
- видеовыход DVI (опционально).

Настройка сетевых параметров

Для корректного обмена данными с модулями ввода-вывода и SCADA-системами необходимо корректно задать сетевые настройки ПЛК. Конфигурирование параметров модулей, включая сетевые настройки коммуникационных процессоров, производится в среде разработки Astra.IDE, поддерживающей все языки стандарта IEC 61131-3.

Настройку параметров можно производить как при подключении к контроллеру (online-режим), так и в offline-режиме. В первом случае новые параметры применяются сразу, но не сохраняются в проекте. Во втором случае параметры сохраняются в проекте и будут применены при следующей загрузке.

Для модулей коммуникационных процессоров (CP), например R500 CP 04 011 (RS-485) или R500 CP 02 021 (Ethernet), доступны следующие настраиваемые параметры каждого канала:

- **MAC-адрес** – уникальный идентификатор устройства в сети;
- **IP-адрес** – адрес устройства;
- **Маска сети** – битовая маска, определяющая, какая часть IP-адреса относится к сети;
- **Приём и отправка широковещательных пакетов** – при включении этой опции фильтрация широковещательного трафика отключается.

Модули ввода-вывода

Модули ввода-вывода REGUL R500 имеют широкий модельный ряд и поддерживают обработку аналоговых сигналов (включая HART v6, v7), дискретных сигналов (включая NAMUR), сигналов термопар и термосопротивлений, а также импульсных сигналов.

Условное обозначение модулей формируется следующим образом (пример: R500 AI 08 041): R500 – модель контроллера, AI – аналоговый ввод, 08 – количество каналов, 041 – порядковый номер в модельном ряду

Конфигурирование модулей ввода-вывода

Конфигурирование параметров модулей ввода-вывода, таких как тип сигнала подключаемого датчика, диапазон преобразования, маскирование каналов, коэффициенты преобразования, производится в среде разработки Astra.IDE. Для модулей аналогового ввода доступны следующие основные параметры каждого канала:

- **Маскирование** – установка флага отключает обработку канала;
- **Тип канала** – выбор диапазона измерения (возможные значения: -10...10 V, 0...10 V, 4...20 mA, 0...20 mA и другие в зависимости от модуля);
- **K₀ и K₁** – коэффициенты преобразования электрической величины в инженерную;
- **Коэффициент усреднения λ** – в диапазоне [0...1] (по умолчанию 0 – усреднение выключено).

Вся необходимая информация для настройки приведена в соответствующих разделах системного руководства на модули.

Особенности аппаратной архитектуры

REGUL R500 поддерживает «горячую» замену любых модулей контроллера (включая модули ЦП, питания и ввода-вывода) без отключения питания или остановки прикладной программы. Контроллер имеет двоякую высокоскоростную внутреннюю шину данных RegulBus, что позволяет реализовывать различные схемы резервирования: полное дублирование ЦП, питания и модулей ввода-вывода, а также резервированные сборки из двух или трёх модулей одного типа.

Список литературы

1. *Системное руководство REGUL R500 // РегЛаб. – URL: <https://reglab.ru/docs/>*
2. *REGUL R500. Программируемый логический контроллер. Каталог продукции // РегЛаб. – 2025.*
3. *Astra.IDE. Руководство пользователя // РегЛаб. – Версия 2.19.*

ОСОБЕННОСТИ СОПРЯЖЕНИЯ И НАСТРОЙКИ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА БАЗИС-100 С МОДУЛЯМИ ВВОДА-ВЫВОДА

В.О. Лошманов, Р.К. Нурғалиев

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

***Аннотация.** Рассмотрены особенности сопряжения и настройки ПЛК БАЗИС-100 с модулями ввода-вывода. Описаны интерфейсы контроллера, настройка сетевых параметров в программе bconf100, конфигурирование аналоговых и дискретных модулей. Приведены сведения о резервировании, «горячей» замене и взрывозащищённых исполнениях.*

БАЗИС-100 – отечественный модульный многоканальный промышленный контроллер, предназначенный для построения систем противодарийной автоматической защиты (ПАЗ), регистрации, сигнализации и управления технологическими процессами. Контроллер внесён в Реестр Минпромторга РФ, имеет разрешение Ростехнадзора и сертификат функциональной безопасности SIL2. Статья посвящена практическим аспектам сопряжения и настройки ПЛК БАЗИС-100 с модулями ввода-вывода.

Интерфейсы подключения

Контроллер строится по модульному принципу. Модули объединяются дублированной шиной CAN. В составе ПЛК могут быть следующие виды модулей: входных каналов (ВК), выходных управляющих каналов (УК), процессорный (ПР), коммуникационный (МК), источник питания (ИП), панель управления (ПУ), а также измерительный модуль для взрывоопасной зоны (МИЗ).

Для обмена данными с внешними устройствами контроллер поддерживает: Ethernet (протоколы Modbus TCP, БАЗБАС, OPC-сервер);

RS-485 (протокол Modbus RTU);
USB (конфигурирование через flash-карту).

Максимальная конфигурация: до 31 модуля ввода/вывода и коммуникации, до 8 панелей управления, до 640 дискретных и 320 аналоговых входов, до 400 дискретных и 320 аналоговых выходов.

Настройка сетевых параметров

Конфигурирование контроллера производится в среде программирования, поставляемой производителем. Среда позволяет работать как с FBD-подобным языком логических программ (алгоблоки), так и в режиме упрощённого конфигурирования – путём задания специальных настроек элементов конфигурации без написания логической программы.

Настройка сетевых параметров осуществляется через программу конфигурирования bconf100. Для модулей доступны следующие параметры: MAC-адрес (генерируется автоматически), IP-адрес устройства, маска сети. При работе по Ethernet поддерживается взаимодействие с SCADA-системами через OPC-сервер, а также обмен данными между несколькими контроллерами БАЗИС-100 в распределённой системе.

Контроллер поддерживает протоколы обмена с цифровыми датчиками и сторонними контроллерами по Modbus RTU (RS-485) и может выступать как в роли Master, так и в роли Slave.

Модули ввода-вывода и их настройка

Входные модули БАЗИС-100 могут принимать сигналы от следующих типов датчиков: двухпозиционные контактные и токовые (включая NAMUR), термопары любых типов, термопреобразователи сопротивления (3-х и 4-х проводные), токовые активные/пассивные (0-5, 1-5, 0-20, 4-20 мА), напряжения постоянного тока, частотные и импульсные сигналы.

Выходные управляющие модули могут иметь каналы следующих видов: релейный силовой (~220 В, 6 А) или слаботочный, симисторный (~220 В, 20 Вт), транзисторный, токовый (4-20 мА).

Настройка параметров модулей (тип входного сигнала, диапазон преобразования, уставки технологического регламента – до 2 верхних и 2 нижних, коэффициенты ПИ/ПИД-регуляторов) производится в среде конфигурирования. Возможно задание математических каналов (пользовательские формулы) и произвольной логики работы для каждого выходного канала.

Входные и выходные модули могут оснащаться встроенными барьерами взрывозащиты с маркировкой [Exia]ІІС. Модули МИЗ имеют маркировку 0ExiaІІСТ6 и могут располагаться непосредственно во взрывоопасной зоне.

Особенности аппаратной архитектуры

БАЗИС-100 поддерживает резервирование всех основных модулей (процессорные, питания, ввода/вывода, панели управления) с возможностью их «горячей» замены без остановки технологического процесса. Контроллеры объединяются в сеть Ethernet и могут обмениваться состояниями и значениями каналов.

Контроллер реализует до 100 контуров ПИ/ПИД-регулирования (простых) или до 50 каскадных, поддерживает режимы ручного, автоматического и программного управления, а также автоматическую настройку коэффициентов регуляторов. Панели управления имеют цветной ЖК-дисплей (10,4" или 15", включая сенсорные исполнения) с выводом мнемосхем, трендов, барграфов и панелей сигнализации.

Список литературы

1. БАЗИС-100 контроллер модульный противозаварийной защиты, регистрации и управления // ТД «Автоматика». – URL: <https://td-automatika.ru>
2. ПЛК БАЗИС-100 – современное решение для автоматизации технологических процессов // И.Н. Андриянов – Промышленные АСУ и контроллеры, 2012. – № 6.
3. Мини-АСУ ТП на контроллерах серии БАЗИС // И.Н. Андриянов, С.В. Тучинский – ИСУП, 2011. – № 3(33).

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ОСВЕТЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

Л.Р. Валеев, А.А. Рыжова

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

***Аннотация.** В рамках данной статьи рассмотрена разработка автоматизированной системы управления процессом осветления поверхностного стока. Проведен анализ технологического процесса, определены технологические параметры, подлежащие контролю и регулированию. Приведен выбор технических средств автоматизации и контроллера системы управления.*

Осветлённая вода – вода, прошедшая процесс предварительной очистки от взвешенных и коллоидных веществ, соединений кальция, магния, фосфатов и фторидов в блоках осветления перед подачей на мембранные установки водоподготовки.

Современные установки водоподготовки предъявляют высокие требования к качеству исходной воды. Для обеспечения стабильной работы мембранных установок и технологического оборудования требуется глубокая предварительная очистка воды от взвешенных и коллоидных веществ, карбонатов, фосфатов и фторидов. Одним из основных элементов системы водоподготовки являются блоки осветления, в которых реализуются процессы известкования, коагуляции, флокуляции и отстаивания [1].

Технологический процесс осветления включает несколько основных стадий: приём исходной воды, дозирование известкового молока, коагуляцию, флокуляцию, осаждение взвешенных веществ и удаление шлама. В режиме работы №1 в пре-контактную ёмкость подаётся 5%-ный раствор известкового

молока пропорционально расходу воды с корректировкой по значению pH. Коагуляция осуществляется раствором сернокислого железа. В режиме работы №2 известкование не применяется, а коагуляция выполняется полиоксихлоридом алюминия. На рисунке представлена функциональная схема процесса осветления [2].

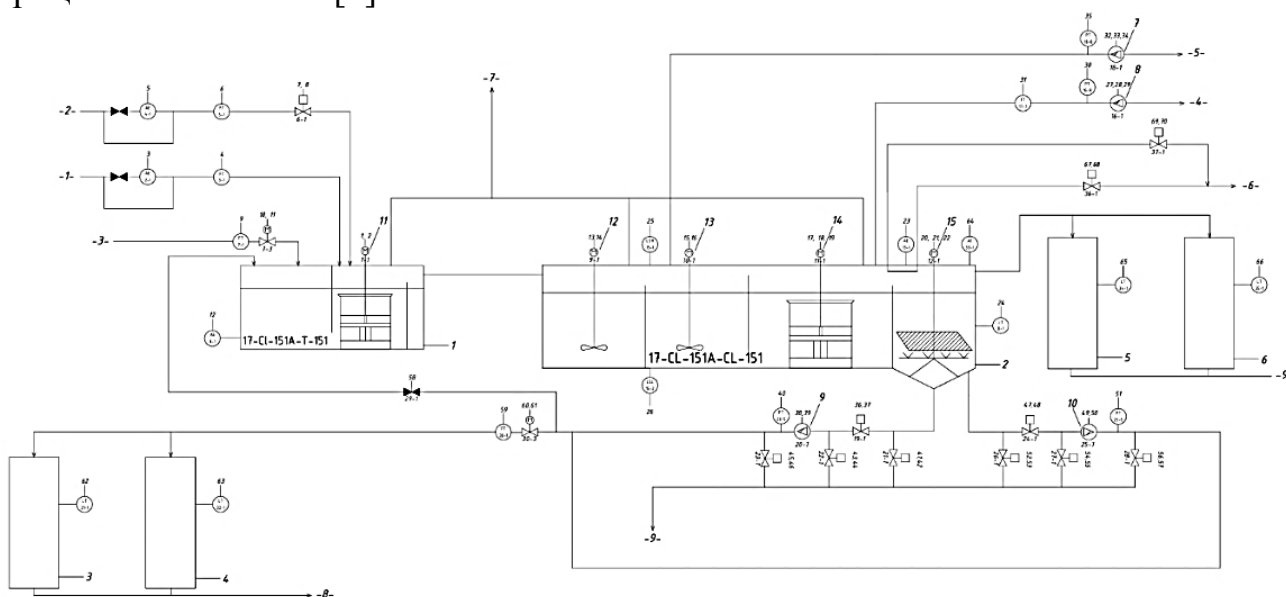


Схема АСУТП осветления поверхностного стока

Для обеспечения стабильности технологического процесса необходимо контролировать и регулировать основные технологические параметры. К таким параметрам относятся расход исходной воды, расход коагулянта, расход флокулянта, расход известкового молока, уровень шлама, давление на напоре насосов, мутность и показатель pH.

Расход дозируемых реагентов определяется пропорционально расходу исходной воды. Для расчёта расходов коагулянта, флокулянта и известкового молока используются дополнительные зависимости.

Для контроля и поддержания технологических параметров установки применяются современные средства измерения и автоматизации: датчики давления Cerabar PMP55, радарные уровнемеры Micropilot FMR20, электромагнитные расходомеры Promag P 300, pH-метры, мутномеры и другие контрольно-измерительные приборы. Использование данных устройств позволяет обеспечить непрерывный мониторинг состояния технологического процесса и своевременное выявление отклонений параметров от заданных значений.

Для реализации функций автоматизированного управления, сбора и обработки технологической информации выбрана распределенная система управления ECS 700 компании SUPCON с программируемым логический контроллером FCU713. Данная система обеспечивает высокую надёжность и эффективность работы АСУТП благодаря следующим возможностям:

- Поддержка протоколов передачи данных HART v6-v7, Modbus RTU, Modbus TCP, OPC DA, OPC UA, OPC AE, Profibus DP v1, SNMP;

- Поддержка полного резервирования модулей, контроллеров, серверов;
- Наличие встроенной среды разработки человеко-машинного интерфейса и программ, системы хранения исторических данных, сигнализаций и действий операторов;
- Наличие системы IDM для настройки и мониторинга КИП непосредственно с АРМ [3].

Таким образом, разработанная автоматизированная система управления установкой осветления поверхностного стока обеспечивает повышение качества очистки воды, снижение расхода реагентов, увеличение надёжности технологического оборудования и более точный контроль параметров процесса водоподготовки.

Список литературы

5. Технологии очистки воды: Электронный ресурс [URL]: <https://ioteh.ru/>
6. Multiflo: Электронный ресурс [URL]: <https://www.veoliawatertechnologies.com/en/solutions/technologies/multiflo>
7. SUPCON Global: Электронный ресурс [URL]: <https://global.supcon.com/>

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЕЛОВОГО МАСЛА ПРИ КИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКЕ

Г.А. Гавриленко, Е.В. Курочкина, А.В. Протопопов
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул

Аннотация. В данной работе изучены различные способы предварительной обработки сырья из хвойных деревьев и их влияние на выход эфирного масла. В качестве предварительной обработки были использованы соляная и серная кислоты, пергидроль, а также смешанный способ. Рассмотрено влияние различной концентрации их водных растворов на выход ценного продукта. Состав эфирных масел подтвержден методом ИК-спектроскопии.

Эфирные масла — это высококонцентрированные натуральные ароматические жидкости растительного происхождения, которые обладают множеством полезных свойств при безопасном использовании в ароматерапии, уходе за кожей, личной гигиене, духовном развитии и других сферах, связанных со здоровьем. Эфирные масла, вопреки использованию слова «масло», на самом деле не имеют маслянистой консистенции. Большинство эфирных масел прозрачные, но некоторые масла, такие как голубой пижмы, пачули, апельсина и лемонграсса, имеют янтарный, жёлтый, зелёный или даже тёмно-синий цвет.

Большинство эфирных масел хвойных деревьев обладают схожими терапевтическими свойствами. Они, как правило, отлично подходят для холодного времени года, помогают нам дышать полной грудью и очищают наши

дома, снижая риск заражения микробами. Некоторые из них даже полезны при болях в суставах и мышцах.

Дистилляция – это метод разделения компонентов, основанный на разнице в скорости испарения летучих веществ в зависимости от температуры, давления и последующей конденсации в перегонной колбе. Дистилляционные методы включают простую дистилляцию (гидродистилляция), дистилляцию с паром (пародистилляцию) и гибридное сочетание – гидропародистилляцию. Все указанные процессы могут осуществляться при атмосферном или пониженном давлении, так как этот метод и его аппаратное оформление наиболее просты. Эфирные масла, содержащиеся в хвое, нерастворимы в воде и имеют более высокую температуру кипения, чем вода, что позволяет эфирному маслу испаряться при более низкой температуре, чем обычно.

Гидропародистилляция – это высокопроизводительный процесс, который используется для большинства ароматических растений, но из-за низкого давления требует более длительного времени дистилляции для извлечения всех летучих веществ. Вода и сырьё помещены также в один перегонный куб, как и в случае гидродистилляции, но они меж собой разделены сетчатой перегородкой, что переводит стадию парообразования в отдельную фазу перегонки, как и методе пародистилляции. Физические условия перегонки методом гидропародистилляции являются более щадящими по отношению к сырью и лабильным компонентам масел, поскольку нет постоянного контакта с водой, а сам процесс перегонки идет с несколько меньшими температурами.

В ходе работы было изучено влияние предварительной обработки древесного сырья для увеличения выхода эфирных масел при гидропародистилляции. Рассмотрели влияние концентрации соляной и серной кислоты, влияние пергидроля и влияние смешанных условия на выход ценного продукта.

Как показывают полученные данные, наилучший выход в условиях использования соляной кислоты составил 0.54 %, серной кислоты – 0.59 %, пергидроля – 0.6 %, смешанных условий – 0.778 %. При обработке серной кислотой после наибольшего выхода наблюдается его снижение за счет разложения масла на более легкие фракции с их переходом в водорастворимое состояние. Выход незначительно увеличился при концентрации равной 3 % за счет окисления масел, их конденсации и соответственно перехода в водонерастворимое состояние.

Однако на полученном ИК-спектре видно, что хоть и выход эфирного масла большой при обработке серной кислотой, но основную часть полученного продукта составляет вода. Недостаток данного способа заключается в том, что серная кислота разлагает эфирные масла, тем самым они переходят в водорастворимое состояние (рисунок 1).

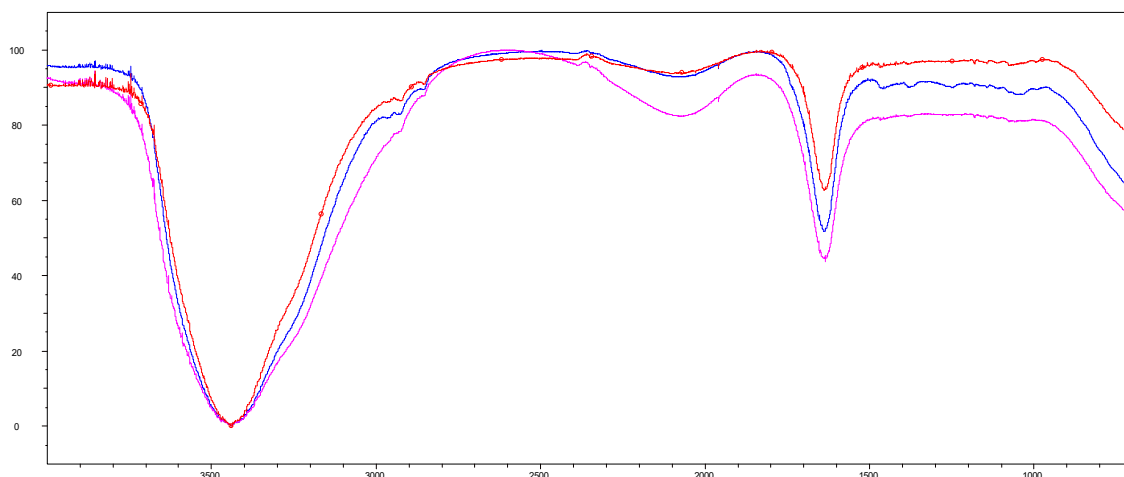


Рис. 1. ИК-спектр эфирного масла, полученный после обработки серной кислотой

Исходя из рисунка 1 видно, что максимальный выход эфирного масла при обработке соляной кислотой наблюдается при концентрации 1.5 %. При концентрации в 2 % выход ценного продукта незначительно уменьшился, в следствие разложения масла и переходом легких фракций в водорастворимое состояние. На полученном ИК-спектре (рисунок 2) красным цветом изображен состав эфирного масла при концентрации соляной кислоты 0.5 %, коричневым цветом – 1 %, светло-зеленым – 1.5 %, зеленым – 2 %. Все полученные водные растворы, кроме 1.5 %, в своем составе имеют большое количество воды, то есть значительная часть эфирного масла содержится при обработке водным раствором соляной кислоты с концентрацией 1.5 %.

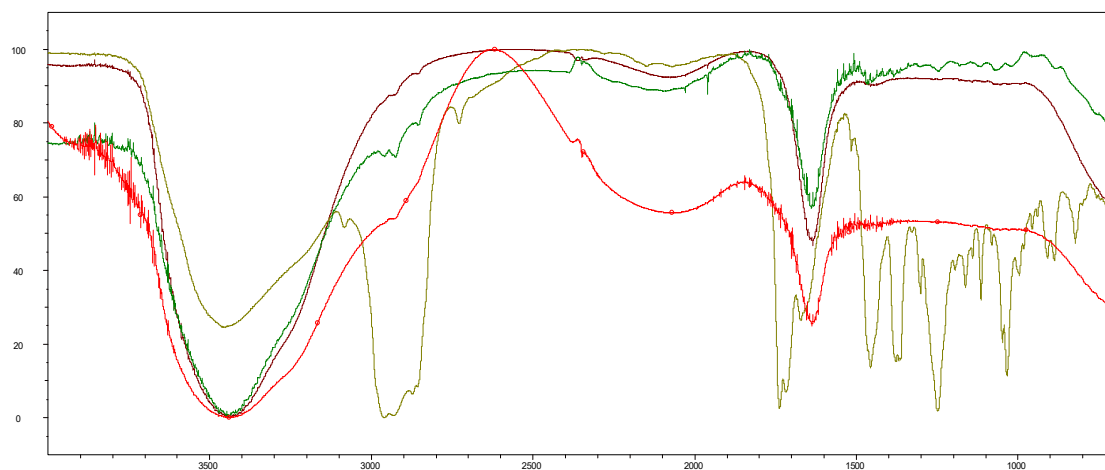


Рис. 2. ИК-спектр эфирного масла, полученный после обработки соляной кислотой

Основной состав эфирных масел, полученных при разных типах обработки совпадает.

Список литературы

I. Roger M. Rowell. Chemical Modification of Wood / DOI: 10.3139/9783446442504.022

ПОЛУЧЕНИЕ СУКЦИНАТОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В КИСЛОТНОЙ СРЕДЕ

А.В. Протопопов, А.А. Батвинова, С.А. Супоня
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул

***Аннотация.** В данной работе исследуется процесс химической модификации древесной муки в системе «пероксид водорода – вода – янтарный ангидрид» при каталитическом воздействии соляной кислоты. Проведен анализ полученных сукцинатов на содержание янтарной кислоты, изучены их спектральные характеристики. Результаты показывают, что присутствие соляной кислоты и пероксида водорода способствует более глубокому проникновению реагентов в структуру древесины, что подтверждается значениями степени замещения.*

При модификации древесины для улучшения свойств необходимо учитывать несколько основных принципов при выборе реагента и системы реакции. Из тысяч химических веществ, доступных как на рынке, так и путем синтеза, большинство можно исключить, поскольку они не соответствуют требованиям или свойствам, перечисленным ниже.

Если в качестве предпочтительного места модификации выбрана реакционная способность гидроксильных групп, химическое вещество должно содержать функциональные группы, которые будут реагировать с гидроксильными группами компонентов древесины. Это может показаться очевидным, но в литературе описано несколько неудачных систем реакций с использованием химикатов, которые не могли реагировать с гидроксильной группой.

Необходимо тщательно учитывать общую токсичность химических веществ. Вещества не должны быть токсичными или канцерогенными для человека в конечном продукте и должны быть максимально нетоксичными на стадии обработки. Химикат должен быть как можно менее коррозионным, чтобы исключить необходимость в специальном обрабатывающем оборудовании из нержавеющей стали или с футеровкой из стекла.

Химическая модификация древесины является эффективным способом получения биоразлагаемых полимеров. В данной работе рассматривается синтез сукцинатов на основе древесной муки. Особенностью методики является использование системы, включающей янтарный ангидрид в качестве ацилирующего агента, пероксид водорода для частичной окислительной деструкции лигноуглеводного комплекса и соляную кислоту в качестве кислотного катализатора.

Процесс получения сукцинатов древесины зачастую сопряжен с необходимостью подбора оптимальных условий среды, так как реакционная способность компонентов существенно зависит от температуры и растворителя. Присутствие соляной кислоты способствует набуханию древесного вещества и катализирует реакцию образования сложных эфиров между гидроксильными группами целлюлозы (и лигнина) и молекулами янтарного ангидрида. Пероксид

водорода, в свою очередь, активирует поверхность древесной муки, увеличивая количество доступных реакционных центров.

В ходе проведенного исследования были синтезированы образцы модифицированной древесины при различных температурах и соотношениях реагентов в течение 3 часов. Важнейшим показателем качества полученных продуктов является степень замещения, отражающая количество вступивших в реакцию функциональных групп.

На рисунке 1 представлена динамика степени замещения в полученных продуктах. Максимальный показатель степени замещения (0,902) для образца ДЯ 11.2 указывает на оптимальное сочетание концентрации соляной кислоты и температуры, обеспечивающее наиболее полную этерификацию. ДЯ 10 также демонстрирует высокую эффективность при стандартном соотношении компонентов. Образцы ДЯ 13 (0,613) и ДЯ 12 (0,518) показывают стабильный результат модификации. Здесь степень замещения в районе 0,5-0,6 говорит о том, что замещена примерно каждая вторая доступная гидроксильная группа на поверхности древесной частицы. Снижение степени замещения в ряде образцов (например, ДЯ 14.2) может объясняться гидролизом образовавшихся эфирных связей в сильноокислой среде при повышении температуры.

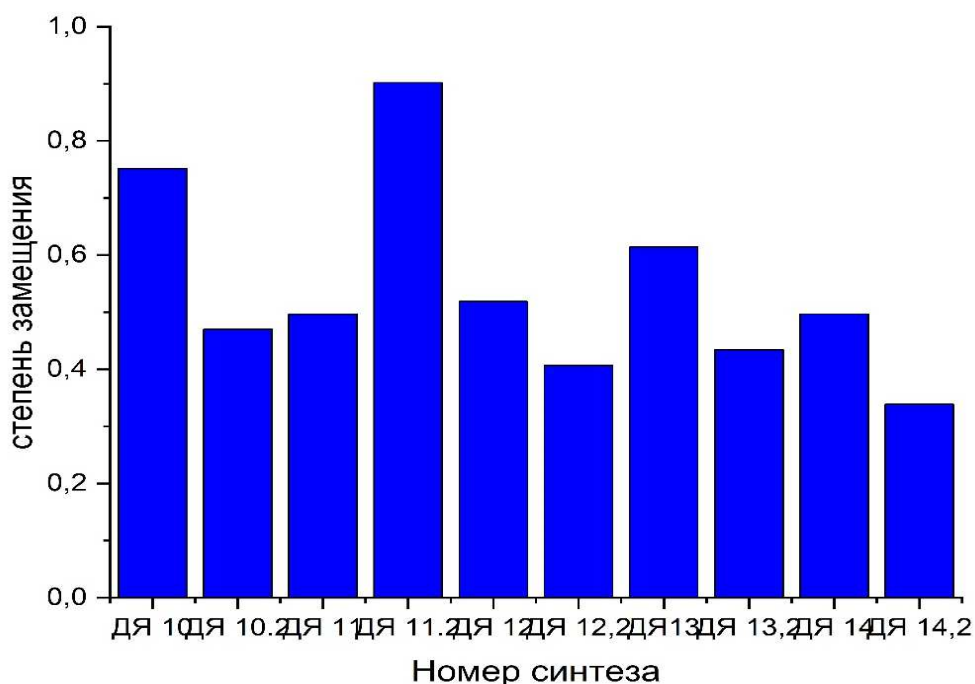


Рис. 1. Степень замещения полученных продуктов

Важной частью работы стало изучение поверхностно-активных свойств полученных сукцинатов древесины. Модифицированная древесная мука приобретает амфифильные свойства за счет введения гидрофобных углеродных цепей янтарной кислоты и сохранения гидрофильных карбоксильных групп.

На рисунке 2 приведены ИК-спектры полученных продуктов. Образец ДЯ 10 – «красный» спектр, образец ДЯ 10.2 – «зеленый» спектр. Область 1160-1240 см^{-1} соответствует колебаниям связей С–О–С в образовавшемся сложном эфире. Чем выше степень замещения образца, тем интенсивнее полоса

поглощения. В области 1720-1750 см^{-1} появляется характерное «искривление», отвечающее за валентные колебания карбонильной группы ($\text{C}=\text{O}$) в сложноэфирном фрагменте. Резкое падение кривых (3300-3500 см^{-1}) характеризуется уменьшением интенсивности широкой полосы гидроксильных групп ($-\text{OH}$), так как они расходятся на образование эфирных связей.

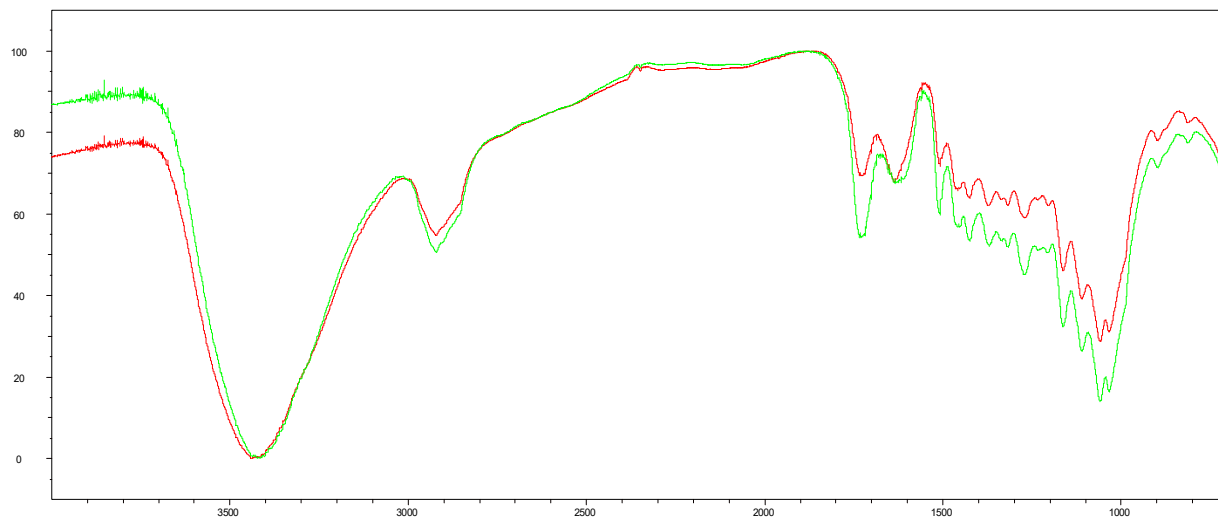


Рис. 2. ИК-спектры полученных сукцинатов древесины

Таким образом, использование сложной реакционной системы позволяет получать функционализированные производные древесины с регулируемыми свойствами.

Список литературы

1. Кислицын А.Н. Экстрактивные вещества древесины / А.Н. Кислицын. – Москва: Лесная промышленность, 1989. – 256 с.
2. Гиллис К.А.С. Модификация древесины: химические, термические и другие процессы / К.А.С. Гиллис. – Чичестер: John Wiley & Sons, 2006. – 260 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПИЩЕВОЙ УПАКОВКЕ

А.Н. Дроздова, А.В. Протопопов
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул

Аннотация. Актуальность работы обусловлена скрытой угрозой миграции тяжелых металлов (кадмия и свинца) из упаковки в пищевые продукты, что может представлять серьезную опасность для здоровья населения. В работе представлена адаптация методики определения токсичных элементов в пищевых продуктах к их определению в пищевой упаковке с использованием метода инверсионной вольтамперометрии на анализаторе TA-Lab. Проведена оптимизация пробоподготовки, подобран режим анализа и подтверждена правильность результатов методом добавок. Исследовано 11 образцов упаковки, выявлены значительные превышения допустимых уровней содержания свинца и кадмия.

Обеспечение безопасности пищевых продуктов является одним из ключевых факторов, определяющих здоровье нации. Особую опасность представляют тяжелые металлы, такие как свинец и кадмий, которые обладают высокой токсичностью, канцерогенными свойствами и способностью накапливаться в организме. Избыточное поступление кадмия в организм может приводить к анемии, поражению печени, нарушению функции легких, остеопорозу, деформации скелета, развитию гипертонии. При отравлении свинцом возможно развитие анемии, поражение нервной системы и почек, замедление интеллектуального развития детей, заболеваний сердечно-сосудистой системы среди взрослых. Помимо загрязнения из окружающей среды, эти металлы могут попадать в пищу из упаковочных материалов. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки» устанавливает жесткие нормативы на содержание свинца и кадмия в упаковке, контактирующей с пищевой продукцией [1]. Однако существующие методы контроля часто ориентированы на анализ самих пищевых продуктов и требуют адаптации для упаковочных материалов. Целью данной работы является разработка и адаптация доступного и экономичного метода определения кадмия и свинца в пищевой упаковке на основе инверсионной вольтамперометрии.

Исследование проводилось на базе Санитарно-гигиенической лаборатории ФФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае» в г. Рубцовске. За основу был взят метод инверсионной вольтамперометрии по ГОСТ 33824-2016 «Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка)» [2].

Ключевым этапом адаптации стала оптимизация пробоподготовки упаковочных материалов: увеличение температуры озоления до 750 °С для полной деструкции полимерной матрицы и снижение массы навески до 0,5 г. Измерения проводили на анализаторе вольтамперометрическом ТА-Lab с использованием трехэлектродной системы (амальгамный рабочий электрод, хлорсеребряный электрод сравнения) [3]. Правильность полученных результатов подтверждена методом стандартных добавок с расчетом норматива контроля.

В ходе эксперимента были получены количественные результаты содержания кадмия и свинца в исследованных образцах, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Результаты обнаружения свинца и кадмия, мг/кг

Образец	Кадмий	Превышение ПДК	Свинец	Превышение ПДК
Мороженое в брикете «Пломбир на сливках»	0,004	Да	0,040	Нет
Глазированный сырок «Творожная палочка»	0,004	Да	0,098	Да

Продолжение таблицы				
Упаковка от хлопьев овсяных «Быстров»	0,041	Да	0,046	Да
Какао-порошок фирмы Магнит	0,126	Да	5,74	Да
Черный чай «RICHARD»	0,050	Да	0,39	Да
Молочный шоколад «Milka»	0,005	Да	0,041	Да
Драже конфеты M&M's	0,004	Да	0,072	Да
Мультизлаковая каша «Фруто Няня»	0,005	Да	0,026	Нет
Пломбир «Коровка из Кореновки»	0,006	Да	0,26	Да
Хлопья овсяные «Быстров», РАР упаковка	0,006	Да	7,73	Да
Йогурт «Еріса»	0,018	Да	0,17	Да

Установлено, что во всех 11 образцах зафиксировано превышение допустимого уровня по кадмию (от 0,004 до 0,126 мг/кг), а по свинцу превышение выявлено в 9 образцах. Наибольшее содержание свинца обнаружено в упаковке из картона РАР 21 хлопья «Быстров» – 7,73 мг/кг, что превышает ПДК в 258 раз. Высокие концентрации свинца 5,74 мг/кг и кадмия 0,126 мг/кг также зафиксированы в комбинированной упаковке какао-порошка (РР 5 + РАР 21). В образцах с маркировкой чистого полипропилена (РР 5) наблюдался значительный разброс концентраций свинца (от 0,041 до 5,74 мг/кг), что указывает на неоднородность сырья и возможное использование вторичных материалов.

Выявленные превышения свидетельствуют о серьезной проблеме безопасности упаковочных материалов. Источниками загрязнения могут быть: использование пигментов на основе сульфида кадмия и хромата свинца, применение вторичного сырья с остаточными количествами металлов, а также технологические загрязнения в процессе производства. Применение метода стандартных добавок подтвердило достоверность полученных результатов: значение контрольной процедуры для всех образцов не превысило рассчитанный норматив контроля ($|K_k| \leq K$), что свидетельствует о приемлемой точности и повторяемости адаптированной методики. Преимуществами разработанного подхода являются экономическая эффективность по сравнению с атомно-абсорбционной спектрометрией, экспрессность, высокая чувствительность и возможность одновременного определения нескольких элементов.

В результате работы успешно адаптирована методика инверсионной вольтамперометрии для определения кадмия и свинца в пищевой упаковке. Подтверждена правильность результатов методом добавок. Показано, что маркировка упаковки не гарантирует ее чистоту от тяжелых металлов, что делает необходимой систему инструментального контроля. Предложенный метод

является перспективной альтернативой для внедрения в лаборатории, осуществляющие контроль безопасности упаковки, и позволяет своевременно выявлять небезопасную продукцию, минимизируя риски для здоровья потребителей.

Список литературы

1. ТР ТС 005/2011. О безопасности упаковки: технический регламент Таможенного союза: утв. решением Комиссии Таможенного союза от 16 авг. 2011 г. № 769: [ред. от 06.09.2024].
2. ГОСТ 33824-2016. Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка). – М.: Стандартинформ, 2016.
3. ООО «Научно-производственное предприятие «ТОМЬАНАЛИТ». Анализатор вольтамперометрический ТА-Lab. Руководство по эксплуатации ДПТА.36.0030.000 РЭ.

ИЗУЧЕНИЕ РЕОЛОГИИ РАСТВОРОВ ЦИТРАТОВ КРАХМАЛА

Е.В. Курочкина, Г.А. Гавриленко, А.В. Протопопов
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул

Аннотация. В данной работе рассмотрен способ получения сложных эфиров крахмала с лимонной кислотой. Полученные цитраты крахмала изучены на степень замещения по отношению к лимонной кислоте и рассмотрены реологические свойства полученных соединений.

Модифицированные крахмалы имеют широкую область применения, основными областями являются: пищевая промышленность, фармацевтическая промышленность, бумажная и строительные промышленности, также текстильная промышленность.

Модифицированный крахмал обладает широким спектром функциональных свойств: он может выступать в роли загустителя, желирующего агента, эмульгатора и выполнять другие технологические задачи. Выбор конкретной разновидности модифицированного крахмала зависит от требований к конечному продукту.

В ходе проделанной работы были проведены синтезы по получению модифицированного крахмала лимонной кислотой. В первом (КЛМ1) и втором (КЛМ2) случае модификация происходит в течении 4 часов при температуре 35°C, также при разном соотношении крахмала к лимонной кислоте – в первом случае 1:1, а во втором случае 1:0,5. В третьем (КЛМ3) и четвертом (КЛМ4) случае модификация проводилась в течении 6 часов при температуре 35°C, при соотношении крахмала к лимонной кислоте – в третьем случае 1:1, а в четвертом

случае 1:0,5. Пятый (КЛА5) и шестой (КЛА6) способ отличаются от третьего и четвертого очередностью стадий подготовки. В седьмом (КЛМ7) и в восьмом (КЛМ8) случае модификация происходит в течении 3 часов при температуре разных температурах, для седьмого продукта - 35°C, восьмого - 75°C соотношение крахмала к лимонной кислоте в данных случаях было равным.

Для полученных продуктов был проведен анализ на связанную кислоту, который показывает какое количество лимонной кислоты сшлось с крахмалом. Полученные данные показывают, что модифицированный лимонной кислотой крахмал, при разных условиях синтеза, оказывает влияние степень замещения. По данным из рисунка 1, высокую степень замещения имеют продукты, полученные способом 4, 3, 2, что характеризует высокую степень взаимодействия крахмала с лимонной кислотой.

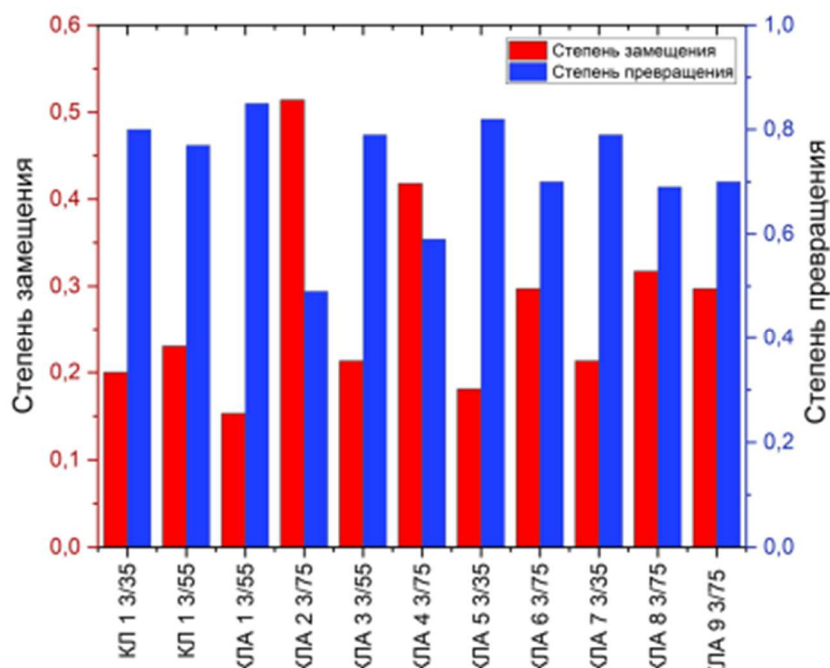


Рис. 1. Степень замещения в полученных продуктах

На рисунке 2 отображены изменения вязкости в зависимости от температуры и времени. Начало желатинизации происходит при температуре 87,5°C. Это температура, при которой крахмал начинает набухать и образовывать гель.

Температура желатинизации составляет 92°C. Это максимальная температура, при которой происходит полное набухание крахмала.

Максимум желатинизации составляет 83 AU. Это показатель максимальной вязкости, достигнутой в процессе желатинизации.

Таким образом в ходе изучения вязкости данным способом стоит отметить, что данный крахмал требует относительно высоких температур для полного набухания, так же показатель вязкости свидетельствует о средних загущающих свойствах крахмала.

На рисунке 2 отображены изменения вязкости в зависимости от температуры и времени. С начала измерения наблюдается высокая вязкость при температуре 30 °C. Это температура, при которой модифицированный крахмал

набух и образовывал гель. При сравнении с нативным крахмалом (рисунок 14) можно заметить, что вязкость на начало желатинизации выше в 3,5 раза.

С незначительным повышением температуры до 33°C наблюдается резкий скачек вязкости максимум которой составляет 664 AU. Это температура, при которой происходит полное набухание крахмала, то есть образование сгустков набухшего крахмала и максимальное сопротивление напряжению сдвига.

В дальнейшем увеличение температуры приводит к разрушению межмолекулярных взаимодействий между отдельными макромолекулами модифицированного крахмала. Поэтому после прохождения максимума вязкость начинает ступенчато падать. При дальнейшем повышении температуры наблюдается подвижность цепей модифицированного крахмала, соответственно и понижение вязкости, так как наблюдается снижение межмолекулярных взаимодействий, что приводит к разрушению связей между отдельными макромолекулами и их разрыв. После разрыва между отдельными макромолекулами начинается их равномерное распространение в растворе модифицированного крахмала. Данный переход подтверждает образование трехмерной структуры изображенные на микрофотографиях в таблицах 7,8,9,10.

При повышении температуры до 90 °C вязкость раствора соответствует нативному крахмалу.

Таким образом в ходе изучения вязкости данным способом стоит отметить, что модифицированный крахмал требует невысоких температур для полного набухания, так же показатель вязкости свидетельствует о высоких загущающих свойствах крахмала по сравнению с нативным крахмалом.

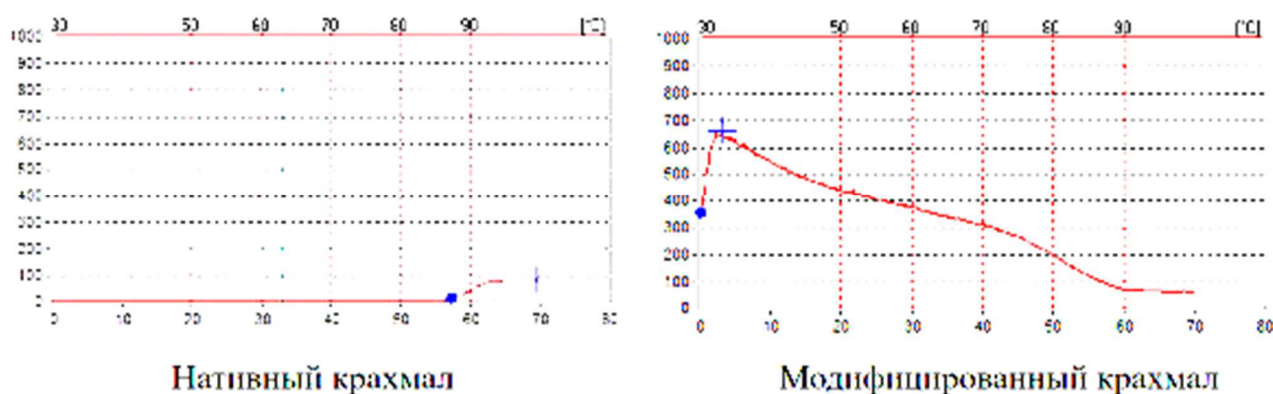


Рис. 2. Вязкость полученных продуктов по Браденберу

Полученные результаты степени замещения и растворимости показывает, что наилучшие показатели у продуктов, полученными способами четыре, три и два.

Список литературы

1. Kairui Zhang, FeiCheng, KangZhang, JianboHu, ChangxueXu, YiLin, MiZhou, PuxinZhu, *Synthesis of long-chain fatty acid starch esters in aqueous medium and its characterization*, *European Polymer Journal*, Volume 119, October 2019, Pages 136-147 <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.07.021>

ПОЛУЧЕНИ ЕСТЕАРАТОВ САХАРОЗЫ В КИСЛОТНОЙ СРЕДЕ

С.А. Супоня, А.А. Батвинова, А.В. Протопопов
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул

Аннотация. Исследовано влияние соотношения компонентов и катализаторов на свойства сложных эфиров сахарозы со стеариновой кислотой. Данное исследование позволит использовать эфиры сахарозы в качестве безопасной и биоразлагаемой основы для ПАВ, заменяя синтетические основы для ПАВ. Это будет способствовать сокращению использования нефтепродуктов и снизить негативное влияние на окружающую среду.

Поверхностно-активные вещества представляют собой универсальную группу органических соединений с широким спектром применения в различных отраслях промышленности. Самыми распространенными в промышленности являются синтетические ПАВ из-за своей эффективности и широкой доступности. Но в настоящее время происходит ужесточение требований безопасности и экологичности, что заставляет отказаться от традиционных нефтяных ПАВ. В связи с этим приоритетным направлением развития является получение биоразлагаемых ПАВ на основе возобновляемого растительного сырья. Особый интерес представляют вещества, получаемые из углеводов (в частности сахаров) и жирных кислот.

Углеводы, составляющие 95 % мировой биомассы, стали основой для производства поверхностно-активных веществ на основе сахара. Эти вещества становятся всё более популярными благодаря высокой производительности и малой токсичности. Основные представители ПАВ на основе сахара – эфиры сорбитана, эфиры сахарозы, алкилполигликозиды и глюкамиды жирных кислот.

Среди сложных эфиров сахаров, производимых по всему миру, моноэфиры на основе сахара, такие как глюкоза и сахароза, являются наиболее изученными и коммерчески востребованными. В большинстве случаев эти соединения являются отличными эмульгаторами, диспергирующими и пенообразующими агентами, обладают очень хорошими солубилизирующими, смачивающими и моющими свойствами и производятся из недорогих и возобновляемых продуктов.

Были проведены исследования по получению эфиров сахарозы со стеариновой кислотой. Синтезы проводились в водной среде, в соотношении компонентов сахароза к стеариновой кислоте как 1:0,5 и 1:1 и различном соотношении объема катализатора в течении 3 часов.

Степень замещения в продуктах реакции

Номер синтеза	ССК1	ССК2	ССК3	ССК4	ССК5	ССК6
Соотношение сахарозы и стеариновой кислоты	1:0,25	1:0,5	1:0,25	1:0,5	1:0,25	1:0,5
Объем H ₂ O ₂ , мл	1,5	1,5	2	2	5	5
Степень замещения	1,46546	1,43851	1,9157	1,32221	1,12643	1,90224

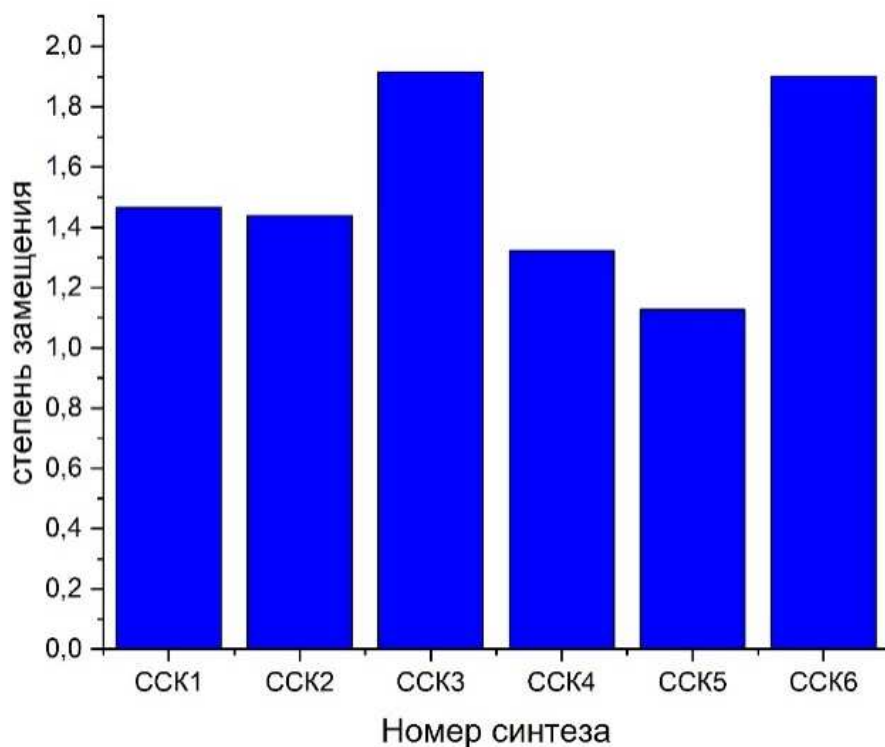


Рис. 1. Степень замещения в полученных продуктах

По полученному графику и таблице, можно отметить, что при соотношении реагентов 1:0,25 максимальная степень замещения соответствует объему катализатора в 2 мл, а при дальнейшем его увеличении, она падает, что может говорить о деструкции продукта. При соотношении 1:0,5, наоборот наибольшее значение степени замещения при 5 мл H_2O_2 . При 1,5 и 2 мл катализатора достигается большая степень замещения при меньшем количестве стеариновой кислоты, а при 5 мл наблюдается обратная зависимость.

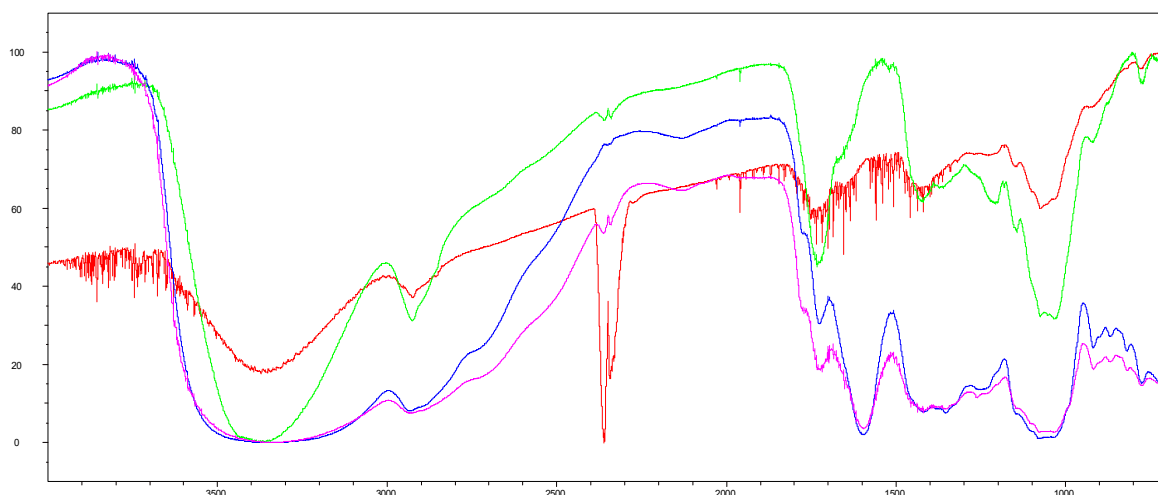


Рис. 2. ИК-спектр продуктов взаимодействия сахарозы:
ССК1 – красный; ССК2 – зеленый; ССК3 – синий; ССК4 – фиолетовый

Исследование образцов методом ИК-спектроскопии (рисунок 2) показало образование сложноэфирных связей, об этом свидетельствует пики в области

1725 см⁻¹, 1070 см⁻¹ и 1020 см⁻¹. Так же можно отметить, что образцы ССК3 и ССК4 хорошо сорбируют влагу, на это указывает широкая интенсивная полоса в области 3200-3600 см⁻¹ с максимумом около 3350 см⁻¹.

Степень замещения в полученных продуктах имеет нелинейный характер как влияния объема катализатора, так и мольного соотношения реагентов, что может свидетельствовать о возможных побочных процессах.

Список литературы

1. *Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение* / К.Р. Ланге; под науч. Ред. Л.П. Зайченко. – Спб.: Профессия, 2007. – 240 стр., ил.

2. *Жиросахара [Текст]: (Получение, свойства, применение)* / Ф.А. Жогло. – Москва: Медицина, 1975. – 112 с.: черт.: 20 см.

МАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ПЛОСКИХ СЛИТКОВ: РОССИЙСКИЙ ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ

Э.Р. Султанов

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

Аннотация. В статье рассмотрены основные марки алюминиевых сплавов, применяемых для производства плоских слитков, а также современные технологические решения и направления модернизации литейных установок. Проанализированы свойства и области применения сплавов IXXX серии, сплавов Al-Mg, Al-Mn, алюминий-скандиевых сплавов и высокопрочных серий (включая 7075). Приведены примеры внедрения новых технологий и модернизации литейных машин на российских предприятиях, обсуждаются проблемы качества слитков и методы их решения, включая электромагнитное литьё, модифицирование и цифровизацию производства. Отмечены перспективы внедрения методов машинного обучения и ИИ для оптимизации процессов.

Производство плоских слитков из алюминиевых сплавов является ключевой стадией в производственной цепочке, обеспечивающей получение полуфабрикатов для прокатного и штамповочного производств: фольги, листов, полос и заготовок для машиностроения. Эффективность и качество этой стадии определяют эксплуатационные свойства конечной продукции. В последнее десятилетие российские научные центры и металлургические предприятия (включая СФУ и ведущие алюминиевые заводы) активизировали исследования в области экономичной легировки, модифицирования и модернизации литейного оборудования. Цель статьи – синтезировать доступные данные о марках сплавов, технологических решениях и практических результатах модернизации, а также выявить перспективы дальнейшего развития отрасли.

Материалы и методы

Анализ основан на обзорных и тематических публикациях, диссертационных исследованиях, отраслевых отчётах и материалах российских

металлургических компаний. В качестве эмпирических примеров использованы данные о модернизации литейных линий на Саяногорском, Красноярском и Братском алюминиевых заводах, а также результаты научно-исследовательских работ СФУ по алюминиево-скандиевым сплавам и методам модифицирования.

Марки алюминиевых сплавов для литья плоских слитков [1]

- Сплавы 1XXX серии. Технический алюминий (марки 1100, 1145, 1050, 1235) традиционно применяют для производства фольги и тонких прокатных изделий. Их отличают высокая пластичность и хорошая коррозионная стойкость, что делает их предпочтительными для фольгопрокатного производства.

- Сплавы Al-Mn (3003, 3102). Применяются как малолегированные материалы с улучшенной прочностью по сравнению с чистым алюминием, пригодны для прокатной промышленности.

- Сплавы Al-Si-Fe с повышенным содержанием Fe (8006, 8011, 8011A, 8111, 8079). Используются в производстве плоских слитков, где допустимо повышенное содержание железа – например, для листовой продукции общего назначения и некоторых видов проката.

- Сплавы Al-Mg и Al-Mg с содержанием Mg $\approx$ 5%. Эти сплавы характеризуются лучшей прочностью и устойчивостью к коррозии, востребованы для профильного проката и некоторых конструктивных элементов; на Братском заводе их производство было расширено после модернизации литейных машин.

- Алюминиево-скандиевые сплавы. Исследования Сибирского федерального университета (СФУ) сосредоточены на экономичных составах с добавлением скандия. Скандий обеспечивает получение мелкозернистой структуры, повышенную прочность и износостойкость, что делает такие сплавы перспективными для авиа- и космической отраслей.

- Сплав 7075 и его модификации. 7075 – высокопрочный сплав на основе Al-Zn-Mg-Cu, применяемый в авиастроении. Модификация лигатурными прутками (например, Al-3%Ti-0,15%C) позволяет получать более мелкозернистые и однородные структуры при литье крупногабаритных плоских слитков.

Области применения плоских слитков

- Фольгопрокатное производство: сплавы серии 1XXX для пищевой и бытовой упаковки.

- Авиакосмическая отрасль: алюминиево-скандиевые и высокопрочные сплавы для конструктивных элементов.

- Автомобильная промышленность: диски, элементы кузова и структурные детали из сплавов с контролируемым содержанием кремния и магния.

- Строительство: листовые и профильные изделия для фасадов, ограждений и др.

Технологические проблемы и методы их решения

- Дефекты и неоднородность микроструктуры. Основные проблемы – ликвация, пористость, включения и неравномерное распределение легирующих элементов. Пути решения: тщательный контроль шихты, использование систем

фильтрации (например, пенокерамические фильтры), оптимизация режимов заливки и кристаллизации.

- Контроль чистоты расплава. Пенокерамические фильтры и дегазация позволяют снижать число неметаллических включений и газовых полостей.

- Управление кристаллизацией. Модифицирование с использованием лигатурных прутков (AlTi5B1, Al-3%Ti-0,15%C и др.) даёт рефайнмент зерна, повышая однородность структуры и механические свойства.

- Вакуумирование и охлаждение. Улучшенные системы вакуумирования уменьшают газонасыщение, а модернизированные системы охлаждения – сокращают термические напряжения и дефекты.

Инновационные технологии литья [2]

- Электромагнитное литьё (ЭМК). Метод исключает физический контакт между кристаллизатором и отливаемым слитком, что уменьшает образование наплывов ликвации и дефектов слипаний, улучшая однородность материала.

- Автоматизация и цифровизация. Внедрение роботизированных систем для загрузки форм, автоматической обрезки, мониторинга качества и предиктивного обслуживания повышает стабильность производства и снижает влияние человеческого фактора.

- Системы мониторинга и контроля качества в реальном времени. Сенсорика и программное обеспечение для анализа режима заливки и параметров кристаллизации позволяют быстро реагировать на отклонения.

- Модифицирование и легирование на лету. Введение лигатурных добавок непосредственно в поток расплава для оперативной коррекции состава и микроструктуры.

Практические примеры модернизации в России

- Саяногорский алюминиевый завод (РУСАЛ): модернизация двух литейных машин для производства плоских слитков фольгового качества с увеличением общей мощности до 140 тыс. тонн в год.

- Красноярский алюминиевый завод: строительство двух литейных машин с суммарной мощностью свыше 200 тыс. тонн в год для плоских прокатных слитков.

- Братский алюминиевый завод: после модернизации двух литейных машин для производства слитков из сплавов Al-Mg и Al-Mn мощность выросла с 15 тыс. до 100 тыс. тонн в год; также была введена машина для сплава Al-Mg 5%.

Перспективы развития

- Широкое внедрение электромагнитного литья и технологий безконтактной кристаллизации повысит качество крупногабаритных слитков.

- Интеграция систем машинного обучения и ИИ для оптимизации режимов заливки, прогноза дефектов и предиктивного обслуживания оборудования.

- Дальнейшее развитие экономичных алюминиево-скандиевых сплавов, позволяющее сочетать высокие эксплуатационные свойства с приемлемой стоимостью.

- Повышение автоматизации и цифровизации производств для снижения затрат и повышения стабильности качества.

Выводы: Современное производство плоских слитков нацелено на сочетание контроля состава и микроструктуры сплава с высокотехнологичными методами литья и автоматизацией. Российский опыт показывает значительный прогресс в модернизации литейных машин и внедрении технологий (фильтрация, вакуумирование, модифицирование, ЭМК), что позволяет существенно наращивать производственные мощности и улучшать качество продукции. Внедрение методов ИИ и дальнейшее развитие специализированных сплавов (особенно алюминиево-скандиевых и модифицированных высокопрочных марок) являются приоритетными направлениями для повышения конкурентоспособности отрасли [3].

Список литературы

1. Коршунова Татьяна Евгеньевна Систематизация принципов классификации и маркировки стандартных сплавов алюминия // *Научные труды Дальрыбвтуза*. 2013. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistematizatsiya-printsipov-klassifikatsii-i-markirovki-standartnyh-splavov-alyuminiya> (дата обращения: 27.05.2026).
2. Костин И.В., Безруких А.И., Беляев С.В., Фролов В.Ф., Губанов И.Ю., Лесив Е.М., Степаненко Н.А. Исследование технологии модифицирования при литье плоских слитков 5xxx серии // *Журнал СФУ. Химия*. 2017. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-tehnologii-modifitsirovaniya-pri-litie-ploskih-slitkov-5xxx-serii> (дата обращения: 27.05.2026).
3. Коковин П.Л. Освоение технологии литья крупногабаритных плоских слитков из алюминиево-литиевого сплава нового поколения / П.Л. Коковин, Т.В. Мальцева, Б.В. Овсянников // *Литейщик России*. – 2023. – № 1. – С. 21-24.

АСУТП ПРОЦЕССА СТАБИЛИЗАЦИИ НЕФТИ НА ПРОМЫСЛЕ

Д.А. Ветелкин

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

Аннотация. В рамках данной статьи рассмотрена разработка автоматизированной системы управления процессом стабилизации нефти на промысле. Рассмотрена технология производства, определены технологические параметры, подлежащие контролю и регулированию. Приведен оптимальный выбор контроллерного оборудования.

Установка стабилизации нефти на промысле. Процесс физической стабилизации нефти предназначен для удаления газовых компонентов. Вследствие высокого давления насыщенных паров газа выделяются из нефти при температуре окружающей среды, унося с собой ценные легкие компоненты бензиновых фракций [1].

Такое испарение наблюдается в резервуарах, при сливе и наливке нефти и нефтепродуктов. При этом потери могут достигать 5 %. Присутствие в нефти газов, кроме этого, способствует образованию в трубопроводах паровых пробок, которые затрудняют перекачивание. Установки стабилизации нефти строятся и эксплуатируются на промыслах. Для стабилизации только нефти применяют одноколонные установки, а двухколонные установки используют для стабилизации нефти одной колонне и стабилизации газового бензина – в другой [2]. Последние используют для нефти с высоким содержанием растворенных газов – более 1,5 %

На рисунке представлена функциональная схема процесса стабилизации нефти на промысле.

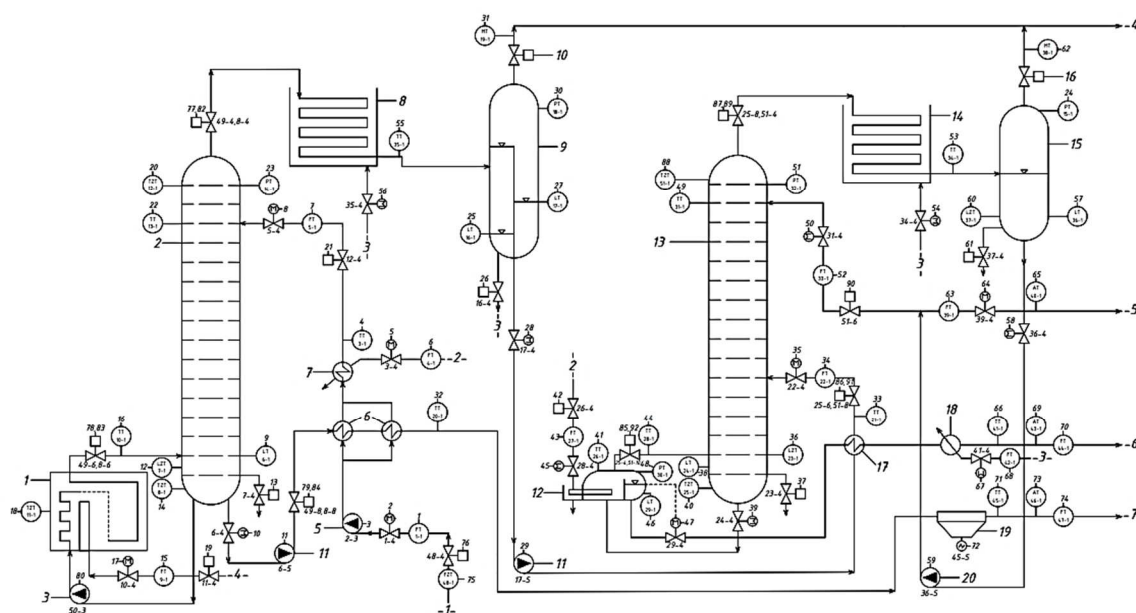


Схема АСУТП стабилизации нефти на промысле

Для повышения эффективности и безопасности протекания технологического процесса необходимо определить параметры, подлежащие контролю, регулированию, сигнализации и защите. Такими параметрами являются давление, расход, температура, уровень. Для контроля за данными параметрами используются следующие датчики: термопреобразователи сопротивления (Метран-2000), тензометрические датчики давления (Метран-150), емкостные уровнемеры (Ризур-121У), вихревые расходомеры (ЭМИС-ВИХРЬ) и другие.

Для реализации функций сбора и обработки информации, а также последующей выдачи управляющих воздействий на исполнительные устройства был выбран контроллер SUPCON ECS-700 от фирмы SUPCON [3]. Данный контроллер обладает рядом преимуществ:

- Поддержка языков программирования стандарта МЭК 61131-3;
- Поддержка большого количества протоколов передачи данных, включая Modbus, Profibus, OPC;

- Полное резервирование модулей и сетей передачи информации, позволяющее выполнить «горячую» замену вышедшего из строя оборудования;
- Поддержка HART;
- Наличие собственной среды разработки человеко-машинного интерфейса.

Выбор контроллера SUPCON ECS-700 позволит повысить эффективность и безопасность протекания технологического процесса.

Таким образом, разработанная автоматизированная система управления позволит повысить эффективность получения фурфурола из растворов экстракта и рифината, повысить надежность и безопасность протекания технологического процесса, а также позволит более точно контролировать все технологические параметры установки [4].

Список литературы

8. Очистка фурфуролом: Электронный ресурс [URL]: https://nec-ton-sea.ru/articles/ochistka_furfurolom_%28harakteristika_rastvoritelya%29/
9. Бондаренко Б.И. Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа. Б.И. Бондаренко – М.: Химия, 1983. – 128 с., нл.
10. Промышленные решения SUPCON: Электронный ресурс [URL]: <https://www.supcon.kz/>
11. Ивлев А.В. Разработка системы автоматизации абсорбционно-газофракционирующей установки / А.В. Ивлев, Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина // Инновационные наукоемкие технологии: Доклады VII международной научно-практической конференции, Тула, 22 июня – 02 2020 года / Под общей редакцией В.М. Панарина. – Тула: Издательство "Инновационные технологии", 2020. – С. 4-7.

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ БИТУМНОЙ УСТАНОВКИ С РЕАКТОРОМ ЗМЕЕВИКОВОГО ТИПА

А.Э. Гималтдинова, Р.К. Нурғалиев

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

Аннотация. Данная научная статья направлена на исследование вопросов оптимизации управления температурным режимом установок по производству битума, использующих технологические комплексы с реакторами змеевикового типа. Основное внимание уделяется детализации технологического цикла изготовления битума, подчеркивая важность точного поддержания стабильной температуры в процессе как главного критерия получения высококачественного конечного продукта. Рассматриваются основные сложности и препятствия, встречающиеся при попытке стабилизировать температуру, и предлагаются пути решения данной проблемы путем реализации каскадных и адаптивных методов управления. Графики и диаграммы демонстрируют изменение динамики

температуры при внедрении различных стратегий управления процессами. Анализ показывает, что оптимальная настройка и управление температурным режимом способствуют повышению устойчивости работы оборудования, снижают энергозатраты и улучшают качество готового продукта.

Введение

Производство битума – одно из важнейших направлений переработки сырой нефти, широко используемое в строительстве дорог, кровельных материалов и гидроизоляции зданий. Ключевым условием успешной организации данного процесса является создание и поддержание стабильного температурного режима во время всех этапов производства. Особенно важно соблюдать этот параметр на предприятиях, работающих с оборудованием типа реакторов змеевикового типа, поскольку такие установки требуют строго контролируемых высоких температур для активации сложных химических реакций, связанных с окислением углеводородов.

От точности настройки температурного режима зависит стабильность производственного процесса, энергоэффективность и безопасность эксплуатации оборудования, а также соответствие готовой продукции необходимым стандартам качества.

Технологический цикл производства битума

Процесс изготовления битума на установке с реактором змеевикового типа состоит из нескольких основных стадий:

1. Подготовка исходного сырья

Исходное вещество (обычно гудрон) поступает через насосную систему в печь-теплообменник, где происходит нагревание до заданной температуры. Эта стадия важна для подготовки основы для последующих реакций окисления.

2. Нагрев сырья в печи

Подготовленное нагретое сырье подается непосредственно в реактор, представляющий собой установку с лабиринтной сетью каналов-змеевиков. Такая конструкция позволяет равномерно распределять тепло и обеспечить равномерность реагирования.

3. Окисление в реакторе

Внутри реактора обеспечивается подача воздуха, необходимого для начала экзотермической реакции окисления. Воздух ускоряет химическое преобразование и регулирует течение реакций, влияющих на качество и состав битума.

4. Финальная обработка и разделение продуктов

После прохождения реакционного этапа полученные вещества направляются в специальный разделяющий аппарат-сепаратор, где осуществляется отделение готовых компонентов от побочных продуктов и примесей.

Каждая фаза должна проводиться при строгом соблюдении определенных температурных режимов, чтобы гарантировать успешное завершение всех необходимых химических трансформаций.

Трудности управления температурным режимом

Поддержание стабильной температуры на протяжении всей длительности процесса оказывается сложной задачей ввиду множества факторов, оказывающих влияние на температурный баланс:

- Колебания объема подачи топлива приводят к изменениям скорости нагрева.
- Изменчивость потоков поступающего сырья нарушает оптимальный темп прогрева и течения реакций.
- Интенсивность подачи воздушных масс влияет на ход окисления и выделение тепла.
- Внешние климатические условия, такие как температура окружающего воздуха, влажность и давление, вносят дополнительные возмущающие воздействия.

Кроме того, многие химические реакции являются эндотермическими, выделяя значительное количество тепла, что дополнительно усложняет контроль над температурой.

Особенно критично отклонение от идеальных параметров:

- Избыточный перегрев ведет к формированию нежелательного коксового осадка, ухудшающего текучесть и физико-химические характеристики битума.
- Недостаточная температура снижает эффективность реакций окисления, увеличивает длительность производственного цикла и негативно сказывается на качестве конечной продукции.

Дополнительным вызовом является высокая инерционность установки, проявляющаяся значительным временем отклика между внесенными изменениями в настройках регулятора и фактическим изменением температуры внутри реактора. Этот фактор требует особой осторожности и высокой точности расчетов при управлении процессом.

Современные методы управления процессом

Для устранения проблем, возникающих вследствие нестабильного температурного режима, традиционно используются различные виды автоматизированных систем управления, среди которых наиболее распространены следующие подходы:

- **Пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) – регуляторы:** обеспечивают базовую устойчивость процесса благодаря способности компенсировать отклонения и учитывать историю изменения температуры.
- **Каскадные схемы управления:** включают несколько уровней регулирования, когда один контур контролирует первичный показатель (например, расход топлива), а другой – вторичные параметры (температуру). Такой подход улучшает реакцию системы на быстрые изменения внешних воздействий.

- **Адаптивное регулирование:** система способна автоматически изменять коэффициенты управления в зависимости от текущего состояния процесса, обеспечивая максимальную гибкость и точность.

Эти стратегии позволяют минимизировать колебания температуры и улучшить общий результат работы установки.

Результаты внедрения предложенных мер

Оптимизация структуры управления включает ряд конкретных шагов, направленных на улучшение производительности и экономичности установки:

- Организация постоянного мониторинга температуры в ключевых точках технологического тракта.
- Использование каскадных принципов управления, позволяющих точнее регулировать подачу топлива и поддерживать оптимальное соотношение расхода воздуха и газа.
- Автоматическая адаптация параметров управления к меняющимся условиям процесса, включая возможность оперативной коррекции настроек.
- Предсказательная аналитика и предупреждение возможных отклонений, способствующие своевременному выявлению и предотвращению сбоев.

Результаты такого подхода выразились в следующем:

- Уменьшение потребляемых топливно-энергетических ресурсов за счет точной дозировки энергии.
- Сокращение разброса значений температуры, ведущих к повышенной стабильности и надежности производства.
- Повышение качественных характеристик произведённого битума, отвечающее современным требованиям стандартов.
- Увеличение срока службы основного оборудования за счёт снижения нагрузок и износа деталей.

Заключение

Изложенное подтверждает, что точное и устойчивое управление температурным режимом является основополагающим элементом успешного ведения производственного процесса битума. Отклонения от заданных параметров ведут к увеличению затрат и потере качества продукции. Использование современных технологий автоматизации, таких как каскадные и адаптивные системы управления, даёт ощутимые преимущества в виде экономии энергоресурсов, улучшения свойств продукта и увеличения долговечности техники. Поэтому дальнейшее развитие инновационных решений и углубление исследований в области автоматического управления становятся приоритетными направлениями развития промышленности переработки нефти и газа.

Список литературы

1. Астахов В.И. Процессы и аппараты нефтепереработки / В.И. Астахов. – Москва: Химия, 2018.

2. *Переработка нефти [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Переработка_нефти.*
3. Скобло А.И. *Процессы и аппараты нефтегазопереработки* / А.И. Скобло, А.И. Владимиров. — Москва: Недра, 1983.
4. Лебедев Н.Н. *Химическая технология органических веществ* / Н.Н. Лебедев. — Санкт-Петербург: Лань, 2019.
5. Skogestad S. *Multivariable Feedback Control* / S. Skogestad, I. Postlethwaite. — Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2007.
6. Astrom K.J. *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning* / K.J. Astrom, T. Hagglund. — Research Triangle Park: Instrument Society of America, 2006.
7. Мельников В.П. *Автоматизация технологических процессов* / В.П. Мельников. — Москва: Академия, 2020.
8. Пономарев С.В. *Системы управления в нефтепереработке* / С.В. Пономарев. — Москва: Нефть и газ, 2021.

АСУТП КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА

А.М. Набиуллин

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

Аннотация. В рамках данной статьи рассмотрена разработка автоматизированной системы управления процессом каталитического риформинга. Рассмотрена технология производства, определены технологические параметры, подлежащие контролю и регулированию. Приведен оптимальный выбор контроллерного оборудования.

Риформат (катализат риформинга) — высокооктановый жидкий углеводородный продукт, являющийся ключевым целевым результатом процесса каталитической переработки бензиновых фракций. Свежеполученный риформат представляет собой прозрачную, бесцветную или слегка желтоватую жидкость с характерным интенсивным запахом ароматических углеводородов (бензола, толуола). В отличие от прямогонных бензинов, он обладает высокой детонационной стойкостью. Учитывая высокую пожаро- и взрывоопасность углеводородных смесей, а также токсичность ароматических углеводородов, при обращении с риформингом необходимо применять меры промышленной безопасности: использовать искрозащищённое оборудование, системы газоанализа и надёжные системы вентиляции. [1]

Технологический процесс каталитического риформинга состоит из следующих стадий: подготовка сырья (гидроочистка и осушка), каталитическая переработка в реакторном блоке и разделение с стабилизацией продуктов. Процессы осуществляются при помощи реакторов с неподвижным или подвижным слоем катализатора, теплообменников, печей для подогрева, сепараторов высокого давления и стабилизационных колонн. [2]

На рисунке 1 представлена функциональная схема процесса каталитического риформинга.

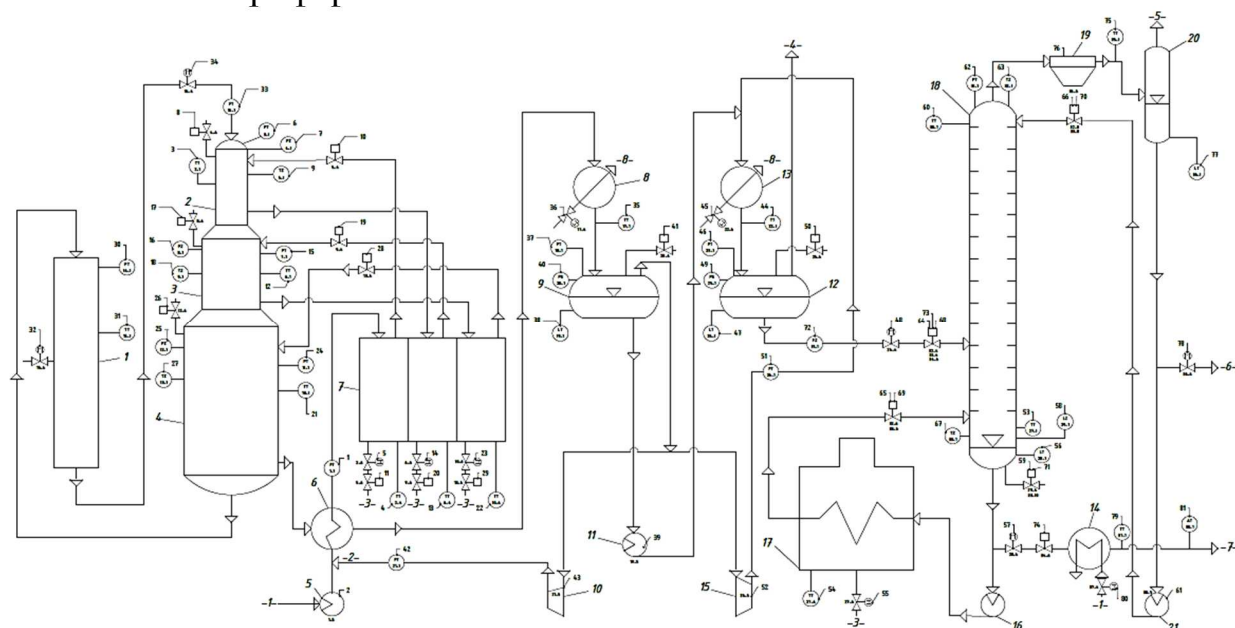


Схема АСУТП каталитического риформинга

Для повышения эффективности и безопасности протекания технологического процесса необходимо определить параметры, подлежащие контролю, регулированию, сигнализации и защите. Такими параметрами являются давление, расход, температура, уровень. Для контроля за данными параметрами используются следующие датчики: термопреобразователи сопротивления (ОВЕН ДТПКхх5Д.И), тензометрические датчики давления (ЭМИС-БАР), емкостные уровнемеры (РИЗУР-НМТ-М), вихревые расходомеры (ЭЛЕМЕР-РВ) и другие.

Для реализации функций сбора и обработки информации, а также последующей выдачи управляющих воздействий на исполнительные устройства был выбран контроллер Regul R500 от фирмы ProSoft [3]. Данный контроллер обладает рядом преимуществ:

- Поддержка языков программирования стандарта МЭК 61131-3;
- Поддержка большого количества протоколов передачи данных, включая Modbus, Profibus, OPC;
- Полное резервирование модулей и сетей передачи информации, позволяющее выполнить «горячую» замену вышедшего из строя оборудования;
- Поддержка HART;
- Высокое быстродействие системы

Выбор контроллера Regul R500 позволит повысить эффективность и безопасность протекания технологического процесса.

Таким образом, разработанная автоматизированная система управления позволит повысить эффективность получения реформата, повысить надежность и безопасность протекания технологического процесса, а также позволит более точно контролировать все технологические параметры установки [4].

Список литературы

12. Риформинг: Электронный ресурс [URL]: <https://bigenc.ru/c/riforming-1aed81>
13. Владимиров А.И. «Установки каталитического риформинга», «Нефть и газ», 1997, 60 с.
14. Промышленные решения Regul: Электронный ресурс [URL] : <https://www.prosoft.ru/>
15. Ивлев А.В. Разработка системы автоматизации абсорбционно-газофракционирующей установки / А.В. Ивлев, Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина // Инновационные наукоемкие технологии: Доклады VII международной научно-практической конференции, Тула, 22 июня – 02 2020 года / Под общей редакцией В.М. Панарина. – Тула: Издательство "Инновационные технологии", 2020. – С. 4-7.

АСУТП ГИДРООЧИСТКИ ДИСТИЛЛЯТА ТОПЛИВА

М.Р. Саетов

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

***Аннотация.** В рамках данной статьи рассмотрено разработка автоматизированной системы управления процессом гидроочистки дистиллята топлива. Рассмотрена технология производства, определены параметры, которые важно контролировать, а также приведен оптимальный выбор контроллерного оборудования.*

Основная цель проведения процесса гидроочистки и гидрообессеривания топливных дистиллятов заключается в улучшении их качества за счет удаления нежелательных компонентов, таких как сера, азот, кислород, металлоорганические соединения и смолистые вещества, непредельные соединения [2,3].

Гидроочистка керосиновых и дизельных фракций проводится для снижения содержания серы до установленных стандартом норм и получения высококачественных топливных дистиллятов с улучшенными характеристиками сгорания и термической стабильности. Этот процесс также снижает коррозионную агрессивность топлива и уменьшает образование осадка при его хранении [1].

На рисунке представлена функциональная схема автоматизации процесса гидроочистки дистиллята дизельного топлива.

Особое место в автоматизации занимает определение технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации, защите и блокировке [5]. Это помогает обеспечить безопасность, эффективность и качество процесса, а также предотвращать аварийные ситуации. Такими параметрами являются температура, давление и расход сырья. Он позволяет передавать команды автоматически или по заранее заданным параметрам,

обладает большой гибкостью настройки и может адаптироваться к различным технологическим процессам. Важным преимуществом контроллера при модернизации системы управления котлоагрегатом является возможность контроля и управления питательными электрическими насосами в любых сценариях работы, включая энергосберегающие режимы. Особенности контроллера включают несколько уровней резервирования ЦПУ и модулей УСО, компактную, модульную, масштабируемую конструкцию, удаленный ввод/вывод, поддержку промышленных шин, 2 порта Ethernet, возможность контроля до 2000 точек в секунду и др. [4].

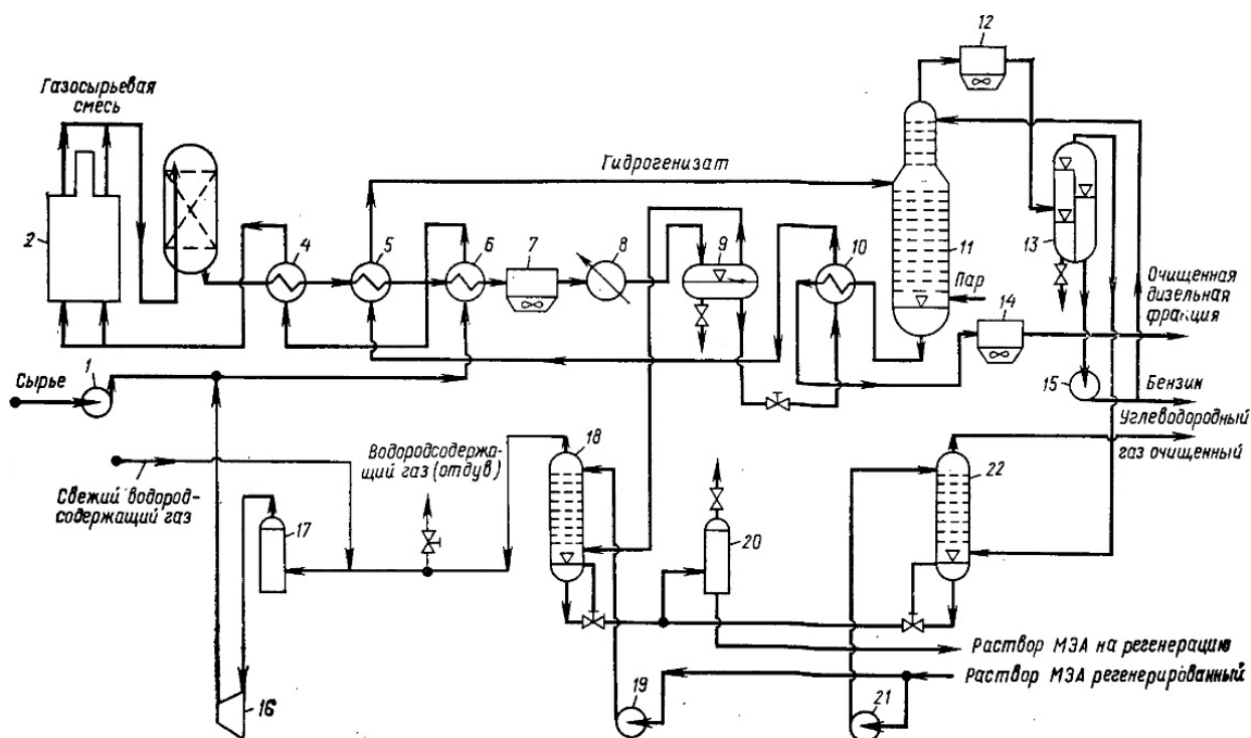


Схема АСУТП гидроочистки дистилята дизельного топлива

Таким образом, разработанная автоматизированная система управления позволит повысить эффективность процесса гидроочистки дистилята топлива, повысить надежность и безопасность протекания технологического процесса, а также позволит более точно контролировать все технологические параметры установки.

Список литературы

1. Технологический регламент установки гидроочистки дизельного топлива Л – 24/6. ТР – 2 – 009 – 217 – 06/Омск. ОАО “Сибнефть - ОНПЗ”, 2006. – 230 с
2. 12. Патент РФ № 2813815. Способ гидроочистки дизельного топлива // Насиров Р.К. и др. 1994
3. 13. Патент РФ № 2905102. Способ гидроочистки дизельного топлива // Капустин Р.К. и др. 1993.
4. https://reglab.ru/product/plk_regul_rx00/regul_r500/?ysclid=mpnzm4hacn18993197

5. Абзальдинова Е.В. Автоматизированная система управления комплексом модификации жидких углеводородных топлив / Е.В. Абзальдинова, И.В. Григорьева, А.Ю. Шарифуллина, С.Э. Мамедов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 17. – С. 190-194.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СМАЗОК НА СУХИХ МЫЛАХ

И.Р. Исламгареев, А.А. Рыжова

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

***Аннотация.** Разработана система автоматизации установки производства смазок на сухих мылах производительностью >10 тыс. т/год. Обоснован выбор отечественных средств контроля (температуры, давления, уровня, расхода) и контроллеров REGUL R500. На основе экспериментальных данных получена передаточная функция объекта третьего порядка; показано преимущество ПИД-регулятора перед ПИ-регулятором по времени регулирования и перерегулированию. Техничко-экономический анализ подтвердил эффективность внедрения: капитальные затраты 61,08 млн руб., срок окупаемости 3,65 года, годовой экономический эффект 16,75 млн руб.*

Автоматизация установок полунепрерывного производства смазок на сухих мылах является актуальной задачей, поскольку при увеличении производительности свыше 10 тыс. т в год традиционные схемы начинают испытывать трудности регулирования из-за циклической работы аппаратов с мешалками [2]. Цель работы – разработка системы автоматизации, обеспечивающей контроль и регулирование основных параметров технологического процесса, а также сигнализацию аварийных ситуаций. Технологический процесс включает стадии приготовления воздушно-сухого мыла, суспензии загустителя в дисперсионной среде, термомеханическое диспергирование с образованием расплава, охлаждение и отделочные операции. Ключевые элементы установки – реакторы, дозировочные насосы, трубчатый нагреватель, деаэратор, скребковый холодильник и сборники-накопители [1].

На первом этапе определены параметры, подлежащие контролю и регулированию: температура, расход сырья, давление, уровень в резервуарах, ток и напряжение электродвигателей. Для каждого параметра выполнен сравнительный анализ технических средств отечественных производителей. По температуре выбран термопреобразователь сопротивления ТСП 101 («Инсат», Россия) с диапазоном $-50...+200$ °С, выходным сигналом 4...20 мА и взрывозащитой Exi [5]. Для измерения давления – датчик ЭМИС-БАР (АО «ЭМИС») с диапазоном до 3 МПа, классом точности 0,1 и выходным сигналом 4...20 мА + HART. Уровень измеряется гидростатическим датчиком МПУ-01 («МераПрибор») с приведённой погрешностью до $\pm 0,1$ %, степенью защиты IP68 и интерфейсом HART. Расходомер выбран ультразвуковой SLS-720F (STREAMLUX) с погрешностью ± 1 %, диапазоном скоростей $\pm 0,01... \pm 12$ м/с и

взрывозащищённым исполнением. Для защиты цепей во взрывоопасных зонах применены барьеры искрозащиты БАЗИС-БАРС [4]. Управление электродвигателями осуществляется магнитными пускателями ПМЛ-1160М (КЭАЗ), а регулирующая арматура представлена клапанами ANTEY и отсечными клапанами 25ч945нж (Овен).

В качестве контроллерного оборудования выбраны программируемые логические контроллеры REGUL R500 (для отказоустойчивых систем автоматизации) и REGUL R500S (для систем противоаварийной защиты, уровень SIL3 по ГОСТ Р МЭК 61508) [6]. Алгоритмы работы предусматривают циклический опрос датчиков с нумерацией, первичную обработку информации (линеаризацию, фильтрацию помех, проверку достоверности, коррекцию и расчёт физических величин). При выходе параметра за допустимые пределы фиксируются время события, номер датчика и величина отклонения с сохранением в памяти. Схемы внешних электрических соединений выполнены с использованием кабелей КВВГЭнг(А)-LS и взрывозащищённых коробок ГЕРДА-КСА, все датчики подключены по двухпроводной схеме с унифицированным сигналом 4...20 мА.

Особое внимание уделено расчёту контура регулирования температуры в смесителе. На основе экспериментальной переходной характеристики (изменение задания на 5 °С) методом площадей с помощью программы TAU.exe получена передаточная функция объекта третьего порядка: $W(p) = 1/(5,232986p^3 + 5,721823p^2 + 3,7585p + 1)$. Модель признана адекватной, поскольку максимальное расхождение с экспериментом не превышает 5,5 % при допустимых 8 %. Для найденной передаточной функции определены оптимальные настройки ПИ- и ПИД-регуляторов. Сравнение переходных процессов показало явное преимущество ПИД-закона: время регулирования по задающему воздействию сокращается с 32 мин до 23,5 мин (на 26,6 %), по возмущающему – с 39 мин до 25 мин (на 35,9 %); перерегулирование снижается с 23,65 % до 15,13 % по заданию и с 22,85 % до 4,25 % по возмущению. Степень затухания повышается с 0,73 до 0,77 по заданию и с 0,87 до 0,90 по возмущению. Таким образом, ПИД-регулятор рекомендован к внедрению [3].

В рамках охраны труда выполнен расчёт искусственного освещения операторской (размеры 10×10×4 м) методом коэффициента использования светового потока. Для достижения нормируемой освещённости 200 лк требуется 9 светильников ЛСП-01 с двумя люминесцентными лампами по 40 Вт каждая. Расчёт вентиляции показал необходимость воздухообмена 523,4 м³/ч для удаления избыточного тепла (2648,8 Дж/с) и 225 м³/ч для удаления углекислого газа.

Технико-экономический анализ включал расчёт капитальных затрат на создание и внедрение АСУТП, эксплуатационных расходов и ожидаемой экономии. Капитальные затраты составили 61,08 млн руб., из которых 12,34 млн – стоимость технических средств, 28,78 млн – проектная документация, 14,77 млн – пуско-наладочные работы. Эксплуатационные затраты (амортизация, ремонт, обслуживание, прочие) определены в 23,45 млн руб. в год. Годовая экономия от снижения норм расхода сырья, энергоресурсов

и сокращения персонала достигла 40,20 млн руб., что даёт годовой экономический эффект 16,75 млн руб. Срок окупаемости капитальных вложений составил 3,65 года, коэффициент эффективности – 0,27. Полученные значения укладываются в нормативные (срок окупаемости менее 5 лет), что подтверждает целесообразность внедрения разработанной системы.

Таким образом, предложенная система автоматизации обеспечивает надёжный контроль и регулирование процесса производства смазок на сухих мылах, повышает безопасность и экономическую эффективность. Результаты могут быть использованы для модернизации аналогичных установок в нефтехимической отрасли.

Список литературы

1. Установка полунепрерывного производства смазок на сухих мылах // Э-Хим. URL: <https://e-him.ru/?page=dynamic§ion=24&article=80> (дата обращения: 08.10.2023).
2. Ерофеева Е.В., Головушкин Б.А. Проектирование систем автоматизации: учеб. пособие / Е.В. Ерофеева, Б.А. Головушкин. – Иваново: ИГХТУ, 2012. – 96 с.
3. Лазарева Т.Я. Основы теории автоматического управления: учеб. пособие. 2-е изд. / Т.Я. Лазарева, Ю.Ф. Мартемьянов. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2004. – 352 с.
4. Датчики давления ЭМИС-БАР // АО «ЭМИС». URL: <https://emis-kip.ru/prod/davlenie/> (дата обращения: 10.11.2023).
5. Кузьмин В.В. Обзор регулятора температуры OMRON E5CN / В.В. Кузьмин, А.В. Чупаев, Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 3. – С. 156-159.
6. Контроллер REGUL R500 // ГК «Прософт-Системы». URL: <https://prosoftsystems.ru/catalog/show/programmiruemyj-logicheskij-kontroller-regul-r500> (дата обращения: 10.11.2023).

АСУТП АБСОРБЦИОННО-ГАЗОФРАКЦИОНИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ

Д.Ф. Зайнутдинов

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

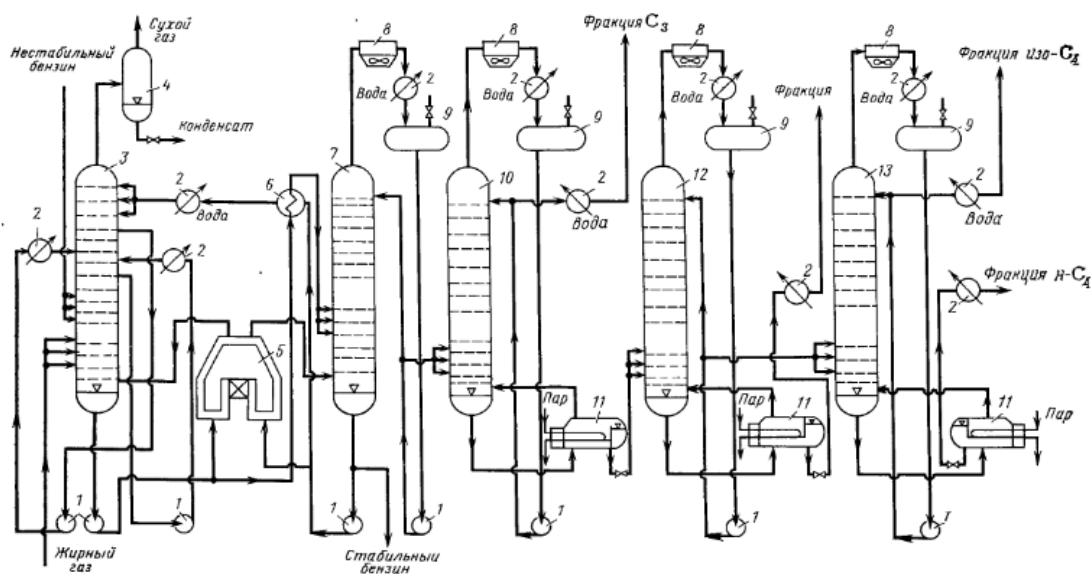
Аннотация. В рамках данной статьи рассмотрена разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) абсорбционно-газофракционирующей установки (АГФУ). Проанализирована технология разделения газовых смесей, определены ключевые технологические параметры, подлежащие контролю и регулированию. Приведён оптимальный выбор комплекса технических средств автоматизации и контроллерного оборудования.

Абсорбционно-газофракционирующая установка (АГФУ) – это промышленный технологический комплекс, предназначенный для разделения

газовых смесей на отдельные углеводородные компоненты или узкие фракции. В основе работы АГФУ лежит процесс абсорбции, при котором целевые компоненты газовой смеси поглощаются специальным жидким абсорбентом, а затем десорбируются и подвергаются дальнейшему разделению в ректификационных колоннах [1].

Технологический процесс включает следующие стадии: подача жирного газа (смеси предельных и непредельных углеводородов) в абсорбционную колонну; абсорбция целевых компонентов абсорбентом (нестабильным бензином); десорбция и разделение фракций в ректификационных колоннах; стабилизация и вывод товарных продуктов (пропан, бутан, изобутан и др.). Ключевыми аппаратами являются фракционирующий абсорбер, ректификационные колонны, теплообменники, холодильные аппараты и приёмники [2].

На рисунке представлена схема процесса.



Принципиальная схема абсорбционно-газофракционирующей установки (АГФУ)

Для обеспечения безопасности протекания технологического процесса необходимо контролировать и регулировать следующие параметры: давление в аппаратах (фракционирующий абсорбер, ректификационные колонны), температура потоков на различных стадиях процесса, уровень жидкости в сепараторах, колоннах и приёмниках, расход сырья и продуктов (газ, бензин, фракции), влажность и состав газовых смесей. Для измерения этих параметров используются современные датчики: термопреобразователи сопротивления (например, ТС-1088), тензометрические датчики давления (ЭМИС-БАР), гидростатические и ультразвуковые уровнемеры (ПД100И-ДГ-167, МПУ-УР 01.007), массовые и объёмные расходомеры (ЭМИС-МАСС 260, Метран-150RFA).

Для реализации функций сбора, обработки информации и управления исполнительными механизмами был выбран программируемый логический контроллер Regul R500 от фирмы «Прософт-системы» [3]. Данный контроллер обладает рядом преимуществ:

- поддержка языков программирования стандарта МЭК 61131-3;
- поддержка протоколов Modbus, Profibus, OPC UA;
- полное резервирование модулей и сетей передачи данных
- поддержка HART-протокола для интеллектуальных датчиков;
- наличие встроенной среды разработки человеко-машинного интерфейса (HMI).

Выбор контроллера Regul R500 позволит повысить эффективность и безопасность протекания технологического процесса.

Таким образом, разработанная автоматизированная система управления технологическим процессом АГФУ позволяет повысить эффективность разделения газовых смесей, обеспечить точное поддержание технологических параметров, увеличить надёжность и безопасность эксплуатации установки, а также снизить эксплуатационные затраты за счёт оптимизации режимов работы.

Список литературы

1. Абсорбционная газофракционирующая установка: Электронный ресурс [URL]: https://studopedia.ru/5_138357_absorbtsionnaya_gazofraktsioniruyushchaya_ustanovka.html

2. Ивлев А.В. Разработка системы автоматизации абсорбционно-газофракционирующей установки / А.В. Ивлев, Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина // Инновационные наукоемкие технологии : Тула, 22 июня – 02 2020 года / Под общей редакцией В.М. Панарина. – Тула: Издательство "Инновационные технологии", 2020. – С. 4-7.

3. RegulR500: Электронный ресурс [URL]: <https://www.prosoft.ru/products/plk-i-sistemy-vvoda-vyvoda/sistemy-raspredelelnogo-vvoda-vyvoda-i-upravleniya-plk/plk-regul-r500/?ysclid=mpngjbn0bu542651820>

АСУТП УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА С ПРЯМОТОЧНЫМ РЕАКТОРОМ

Д.Р. Мухамедьянов

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

Аннотация. В рамках данной статьи рассмотрена разработка автоматизированной системы управления установки каталитического крекинга с прямоточным реактором. Рассмотрена технология производства, определены технологические параметры, подлежащие контролю и регулированию. Приведен оптимальный выбор контроллерного оборудования.

Главным целевым продуктом установки каталитического крекинга с прямоточным реактором является высокооктановый компонент бензина.

Такой бензин обладает октановым числом 90-94 по исследовательскому методу и характеризуется низким содержанием серы. Современный

автомобильный бензин – один из наиболее квалифицированных и дорогих энергоносителей. Для их получения используют сложный комплекс технологических процессов первичной и вторичной переработки нефти, а также различные присадки и добавки, обеспечивающие соответствие современным требованиям к составу и качеству этого вида моторного топлива.

Технологическая процесс установки каталитического крекинга с прямоточным реактором включает в себя следующие блоки: гидроочистки сырья – вакуумного дистиллята, каталитического крекинга, ректификации, газофракционирования и стабилизации бензина.

На рисунке представлена функциональная схема установки каталитического крекинга с прямоточным реактором.

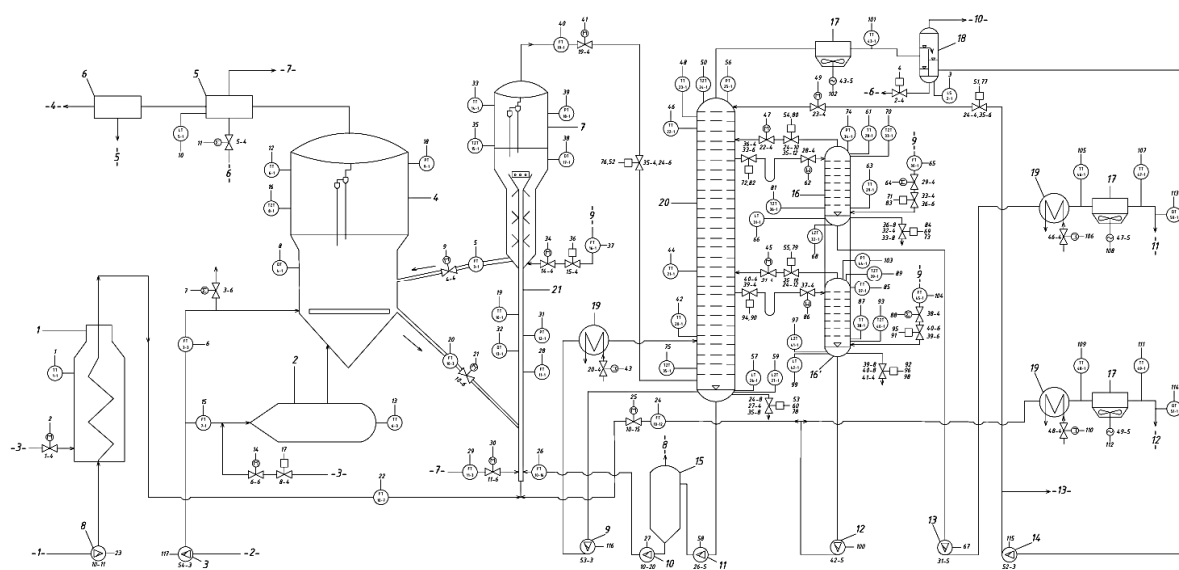


Схема АСУТП установки каталитического крекинга с прямоточным реактором

Для повышения эффективности и безопасности протекания технологического процесса необходимо определить параметры, подлежащие контролю, регулированию, сигнализации и защите. Такими параметрами являются давление, расход, температура, уровень и плотность. Для контроля за данными параметрами используются следующие датчики: термоэлектрические преобразователи (ДТПС-021.1Э-0,5), термопреобразователи сопротивления (ДТС025), уровнемеры (НА 24Е 02, ПУМА100), датчики давления (JS680, СУ-УД-205), расходомеры (УОКЕ УК-МФУ, ЭЛЕМЕР-РВ) и плотномеры (СМР) и другие [3]. Для выполнения сбора и обработки информации, а также для выдачи впоследствии управляющих воздействий на исполнительные устройства был выбран контроллер SUPCON ECS-700 от фирмы SUPCON [4]. Данный контроллер обладает рядом преимуществ:

1. Наличие собственной среды разработки человеко-машинного интерфейса;
2. Поддержка языков программирования стандарта МЭК 61131-3;
3. Полное резервирование модулей и сетей передачи информации, позволяющее выполнить «горячую» замену вышедшего из строя оборудования;

4. Поддержка большого количества протоколов передачи данных, включая Modbus, Profibus, OPC.

Таким образом, разработанная автоматизированная система управления установкой позволит повысить надежность и безопасность протекания технологического процесса, улучшит эффективность получения бензина, а также позволит более точно контролировать все технологические параметры установки [5].

Список литературы

1. Бондаренко Б.И. Каталитический крекинг / Б.И. Бондаренко, Д.Д. Никулин, В.П. Суханов. – 1956. – 208 с.

2. Хаджиев С.Н. Крекинг нефтяных фракций на цеолитсодержащих катализаторах / С.Н. Хаджиев, Ю.П. Суворов, В.Р. Зиновьев; под ред. С.Н. Хаджиева. – 1982. – 280 с.

3. Рыжова А.А. Устройство, работа и метрологическое обслуживание датчиков систем автоматизации: учебно-методическое пособие / А.А. Рыжова, В.В. Кузьмин, Р.К. Нургалиев. – 2018. 276 с.

4. Промышленные решения SUPCON: Электронный ресурс [URL]: <https://www.supcon.kz/>

5. Галямов Р.Р. Система управления установкой подготовки высокосернистой нефти / Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина // Наукосфера. – 2020. – № 12-1. – С. 175-180.

АСУТП УСТАНОВКИ ЭТАНОЛАМИНОВОЙ ОЧИСТКИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

К.С. Барлев

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

Аннотация. Статья посвящена разработке автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) установки этаноламиновой очистки углеводородных газов от сероводорода. Рассмотрена технология очистки, выделены ключевые контролируемые параметры процесса. Представлено техническое решение на базе отечественного программируемого логического контроллера REGUL R500, описаны особенности его настройки и интеграции с модулями ввода-вывода.

Введение

Установка этаноламиновой очистки играет ключевую роль в подготовке углеводородных газов к транспортировке и дальнейшей переработке. Технология основана на селективной абсорбции кислых компонентов (сероводорода H_2S и диоксида углерода CO_2) водным раствором алканоламина, чаще всего моноэтаноламина (МЭА). Надежность и стабильность функционирования установки напрямую зависят от точного контроля и

регулирования ключевых технологических параметров, что требует внедрения эффективной системы автоматизации [1].

Описание технологического процесса

Процесс этаноламиновой очистки представляет собой циклический химико-технологический процесс, включающий следующие основные этапы:

1) Поглощение кислых компонентов 2) Регулируемая циркуляция амина
3) Регенерация амина 4) Охлаждение и возврат амина

Основные технологические аппараты установки включают: Газосепараторы абсорбционные колонны, десорберы, водяные холодильники, теплообменники, паровые кипятильники, насосы, газоотделители, отгонная колонна

Для эффективного управления процессом необходимо контролировать и поддерживать в заданных пределах следующие технологические параметры:

- Температура в различных точках процесса в абсорбере, десорбере и теплообменниках
- Давление в колоннах и трубопроводах
- Уровень жидкости в емкостях и сепараторах
- Расход газа и аминового раствора
- Концентрации H_2S и CO_2 в очищаемом и очищенном газе
- Качество регенерированного амина [2]

Выбор программно-технического комплекса

Для реализации функций сбора данных, автоматического регулирования и противоаварийной защиты (ПАЗ) был выбран отечественный программируемый логический контроллер блочно-модульного типа REGUL R500 производства компании «Реглаб». Этот выбор обоснован следующими факторами:

1. Соответствие стандартам: контроллер поддерживает стандарты IEC 61131-3 и языки программирования стандарта.
2. Развитая коммуникационная инфраструктура: наличие портов Ethernet, RS-485, USB и поддержка промышленных протоколов связи.
3. Высокая степень надежности: архитектура контроллера предусматривает полную резервируемость модулей центрального процессора, питания и ввода-вывода.
4. Поддержка интеллектуальных устройств: совместимость с протоколом HART для работы с современными интеллектуальными датчиками.
5. Удобство разработки: интегрированная среда проектирования Astra.IDE с поддержкой всех этапов жизненного цикла проекта [4].

Особенности аппаратной архитектуры

Контроллер REGUL R500 обладает уникальной возможностью "горячей" замены модулей без прерывания технологического процесса [3].

Заключение

Разработанная автоматизированная система управления технологическим процессом установки этаноламиновой очистки углеводородных газов от сероводорода на базе контроллера REGUL R500 обеспечивает:

- Повышение эффективности очистки газа путем точной стабилизации технологических параметров

- Увеличение надежности и безопасности производственного процесса
- Сокращение эксплуатационных расходов за счет оптимального управления энергопотреблением и реагентами
- Улучшение качества конечного продукта (очищенного газа)

Применение современных отечественных решений в области промышленной автоматизации позволяет не только удовлетворить потребности предприятия в управлении технологическими процессами, но и обеспечить независимость от импортного оборудования, повышая экономическую устойчивость предприятия [5].

Список литературы

1. Иванов И.И. Основы процессов химической технологии: учебное пособие / И.И. Иванов, П.П. Петров. – Москва: Технопресс, 2022.
2. Руководство по эксплуатации установки этаноламиновой очистки газа. ООО "Газпром добыча", 2023.
3. Системное руководство REGUL R500. Компания "Реглаб", 2024.
4. Astra.IDE. Руководство пользователя. Версия 2.20. Компания "Реглаб", 2024.
5. Рочева О.А. Внедрение автоматизированной системы управления технологическим процессом / О.А. Рочева, Р.К. Нургалиев, А.В. Рахимова // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: материалы Международной молодежной научно-практической конференции, посвященной 55-летию КГЭУ, Казань, 08-10 ноября 2023 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. – С. 596-597.

АСУТП ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕГОНКИ БЕНЗИНОВОГО ДИСТИЛЛЯТА

А.А. Даулетов

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

Аннотация. В рамках данной статьи рассмотрена разработка автоматизированной системы управления процессом вторичной перегонки бензинового дистиллята. Рассмотрена технология производства, определены технологические параметры, подлежащие контролю и регулированию. Приведен оптимальный выбор контроллерного оборудования.

Вторичная перегонка является ключевым процессом в нефтеперерабатывающей промышленности, направленным на получение узких фракций для дальнейшего риформинга. Актуальность автоматизации обусловлена необходимостью повышения качества продукции и безопасности производства [1].

На рисунке представлена функциональная схема процесса вторичной перегонки бензинового дистиллята.

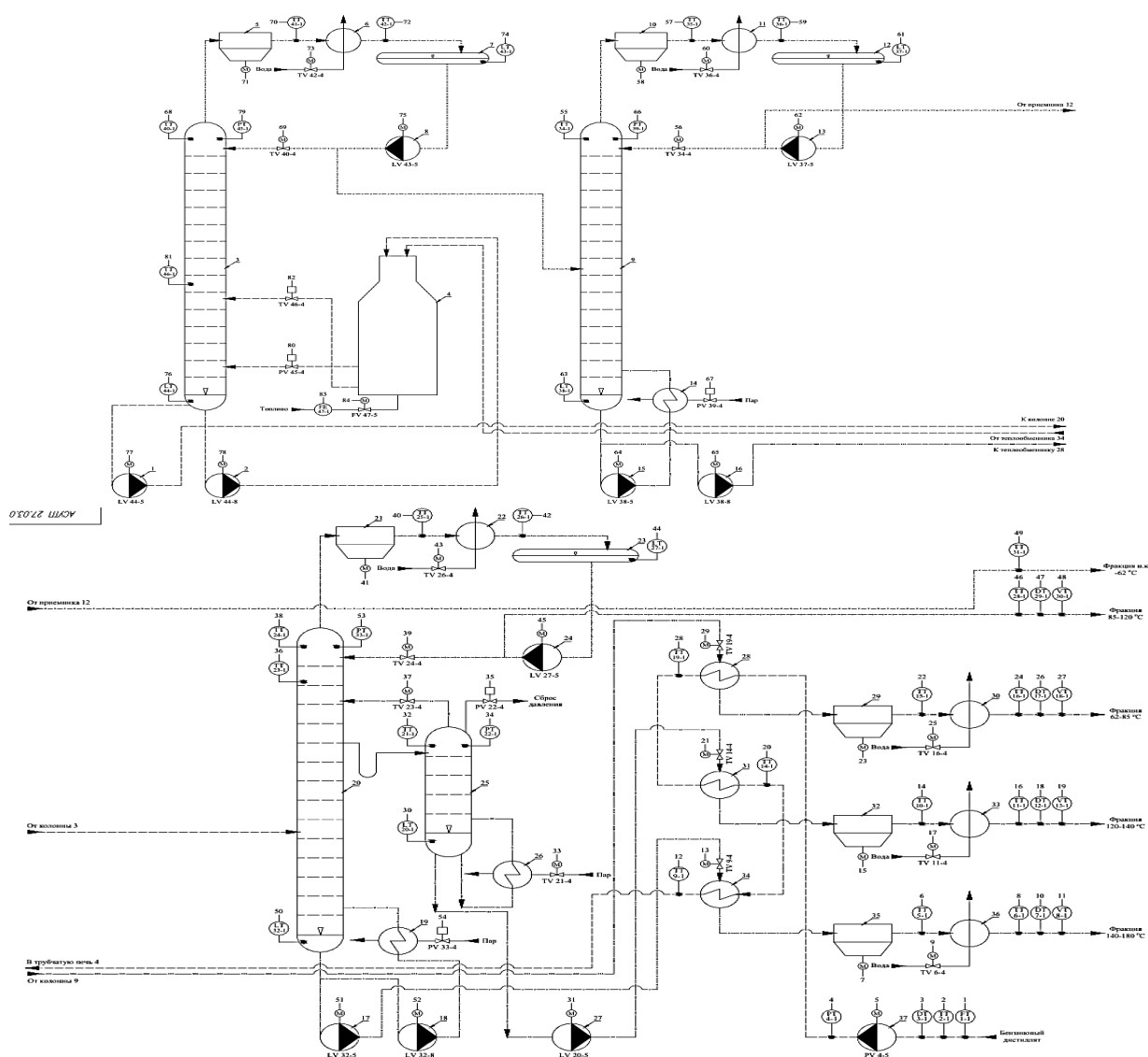


Схема АСУТП

Технологическая часть

Процесс включает следующие основные стадии:

- Подготовка сырья через теплообменники
- Ректификационная переработка в основной колонне
- Разделение на фракции:
 - НК-85°C
 - 85-120°C
 - 120-140°C
 - 140-180°C
- Система теплообмена и конденсации

Система автоматизации

Контролируемые параметры:

- Температурный режим по всем точкам процесса
- Давление в аппаратах
- Уровни в емкостях
- Расход сырья и продуктов
- Плотность и вязкость фракций

Регулируемые величины:

- Температуры в колонне и теплообменниках
- Уровни в аппаратах
- Расход теплоносителя
- Подача сырья

Технические средства

Основные компоненты системы:

- Датчики температуры (Pt100)
- Измерители давления с HART-протоколом
- Уровнемеры гидростатического типа
- Ультразвуковые расходомеры
- Анализаторы плотности и вязкости
- Система противоаварийной защиты

В качестве промышленного контроллера для управления данным технологическим процессом выбран АБАК ПЛК КЗ от компании АО НИЦ «Инкомсистем» [2]. Контроллер обладает следующими преимуществами:

- Большая номенклатура модулей ввода/вывода, а также совместимость между модулями разных моделей АБАК ПЛК
- Поддержка большинства актуальных протоколов обмена данными, включая Profibus и Profinet
- Возможность установки до 100 модулей ввода вывода, в т.ч. в разных корзинах (крейтах);
- «Горячая» замена как модулей ввода вывода, так и модулей ЦПУ
- Поддержка программной среды Codesys 3.5 с возможностью программирования на 5 языках стандарта МЭК 61131-3(2,3)

Использование данного контроллера позволяет значительно повысить надежность протекания технологического процесса, а также повысить его безопасность и эффективность.

Разработанная система автоматизации обеспечивает эффективное управление процессом вторичной перегонки с соблюдением всех технологических требований и норм безопасности [3].

Ожидаемый эффект:

- Повышение точности регулирования параметров
- Снижение потерь продукта
- Улучшение качества целевых фракций
- Повышение безопасности процесса
- Оптимизация энергопотребления

Список литературы

1. Бондаренко Б.И. Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа. Б.И. Бондаренко – М.: Химия, 1983. – 128 с., нл.
2. Нургалиев Р.К. Лабораторный стенд «Информационно-измерительный комплекс на базе ПЛК АБАК» / Р.К. Нургалиев, А.В. Чупаев, Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 10. – С. 210-212.

3. Ивлев А.В. Разработка системы автоматизации абсорбционно-газофракционирующей установки / А.В. Ивлев, Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина // Инновационные наукоемкие технологии: Доклады VII международной научно-практической конференции, Тула, 22 июня – 02 2020 года / Под общей редакцией В.М. Панарина. – Тула: Издательство "Инновационные технологии", 2020. – С. 4-7.

АСУТП ДЕСТРУКТИВНОЙ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТОВ

С.В. Николаев

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

Аннотация. В рамках данной статьи рассмотрена разработка автоматизированной системы управления процессом деструктивной перегонки мазутов. Рассмотрена технология производства, определены технологические параметры, подлежащие контролю и регулированию. Приведен оптимальный выбор контроллерного оборудования.

В статье рассматривается комплексная автоматизация процесса деструктивной перегонки мазутов для увеличения ресурсов газойлевых фракций. Представлен анализ технологического процесса, системы контроля и управления, а также технические решения по реализации АСУТП.

Деструктивная перегонка является важным процессом в нефтеперерабатывающей промышленности, направленным на термическое разложение смолистого остатка мазута. Актуальность автоматизации обусловлена необходимостью повышения эффективности производства и безопасности процесса [1].

На рисунке представлена функциональная схема процесса деструктивной перегонки мазутов.

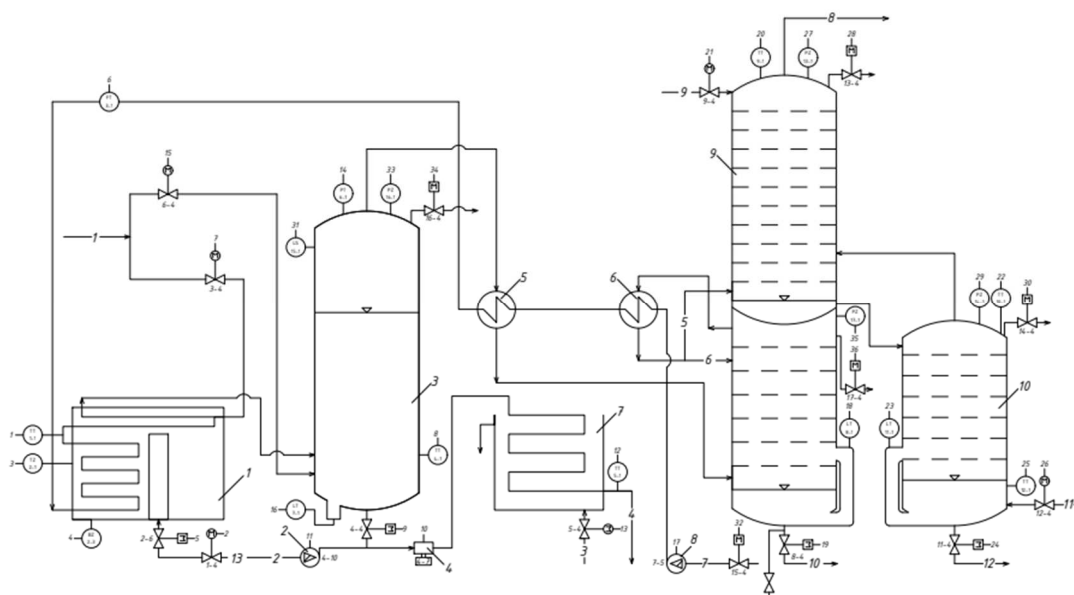


Схема АСУТП

Технологическая часть

Процесс включает следующие основные стадии:

- Подготовка и нагрев мазута в теплообменниках
- Печной нагрев сырья до температуры 460-475°C
- Термическое разложение в испарителе при температуре 420-425°C
- Ректификационная переработка в основной колонне
- Отпарка легких фракций
- Система теплообмена и конденсации

Система автоматизации

Контролируемые параметры:

- Температурный режим печи и испарителя
- Давление в аппаратах
- Уровни в емкостях
- Расход сырья и продуктов
- Температура тяжелого остатка

Регулируемые величины:

- Температуры в печи и теплообменниках
- Уровни в аппаратах
- Расход теплоносителя
- Подача сырья и пара

Технические средства

Основные компоненты системы:

- Термоэлектрические преобразователи ТХА для измерения температуры
- Датчики давления Сапфир-22М
- Ультразвуковые уровнемеры Титан 253-У
- Кориолисовые расходомеры TMU-R
- Датчики пламени ЛУЧ-СПТ-01
- Система противоаварийной защиты

Контроллерное обеспечение

В качестве промышленного контроллера для управления данным технологическим процессом выбран АБАК ПЛК КЗ от компании АО НИЦ «Инкомсистем». Контроллер обладает следующими преимуществами [2]:

Большая номенклатура модулей ввода/вывода, а также совместимость между модулями разных моделей АБАК ПЛК

Поддержка большинства актуальных протоколов обмена данными, включая Profibus и Profinet;

Возможность установки до 100 модулей ввода вывода, в т.ч. в разных корзинах (крейтах);

«Горячая» замена как модулей ввода вывода, так и модулей ЦПУ
Поддержка программной среды Codesys 3.5 с возможностью программирования на 5 языках стандарта МЭК 61131-3(2,3) Использование данного контроллера позволяет значительно повысить надежность протекания технологического процесса, а также повысить его безопасность и эффективность.

Структурная организация

Уровни системы:

- Полевой уровень (датчики и исполнительные механизмы)
- Контроллерный уровень (ПЛК и модули ввода-вывода)
- Верхний уровень (SCADA-система)

Результаты внедрения

Ожидаемый эффект:

- Повышение точности регулирования параметров
- Оптимизация расхода энергоресурсов
- Улучшение качества целевых фракций
- Повышение безопасности процесса
- Снижение влияния человеческого фактора

Заключение

Разработанная система автоматизации обеспечивает эффективное управление процессом деструктивной перегонки с соблюдением всех технологических требований и норм безопасности, что способствует повышению эффективности производства [3].

Список литературы

1. Бондаренко Б.И. Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа / Б.И. Бондаренко. – М.: Химия, 1983. – 128 с., нл.
2. Лабораторный стенд «Информационно-измерительный комплекс на базе ПЛК АБАК» / Р.К. Нургалеев, А.В. Чупаев, Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 10. – С. 210-212.
3. Ивлев А.В. Разработка системы автоматизации абсорбционно-газофракционирующей установки / А.В. Ивлев, Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина // Инновационные наукоемкие технологии: Доклады VII международной научно-практической конференции, Тула, 22 июня – 02 2020 года / Под общей редакцией В.М. Панарина. – Тула: Изд-во "Инновационные технологии", 2020. – С. 4-7.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ВАКУУМНОЙ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТА

Р.И. Шайдуллин, А.А. Рыжова

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет»,
г. Казань

***Аннотация.** В данной работе рассмотрена система автоматизации установки двухступенчатой вакуумной перегонки мазута. Разработанная система управления обеспечивает точный контроль технологических параметров, повышение качества получаемых масляных дистиллятов и гарантированную безопасность производства за счет применения специализированных средств противоаварийной защиты. Система позволяет*

снизить долю ручного управления, оптимизировать энергозатраты и интегрировать технологический процесс в единую цифровую среду предприятия.

Ключевые слова: вакуумная перегонка мазута, автоматизация, система управления, противоаварийная защита, КИПиА, программируемый контроллер.

Введение

В современных условиях нефтеперерабатывающей промышленности ключевыми задачами являются повышение глубины переработки сырья, стабилизация качества целевых продуктов, минимизация энергетических затрат и обеспечение безаварийной эксплуатации технологических объектов. Одной из важнейших стадий переработки тяжелых нефтяных остатков является установка двухступенчатой вакуумной перегонки мазута, предназначенная для получения масляных дистиллятов узкого фракционного состава. Технологическая специфика данного процесса, протекающего в условиях глубокого разрежения, высоких температур и при наличии вязких, термически нестабильных сред, предъявляет жесткие требования к точности регулирования и надежности измерительной техники.

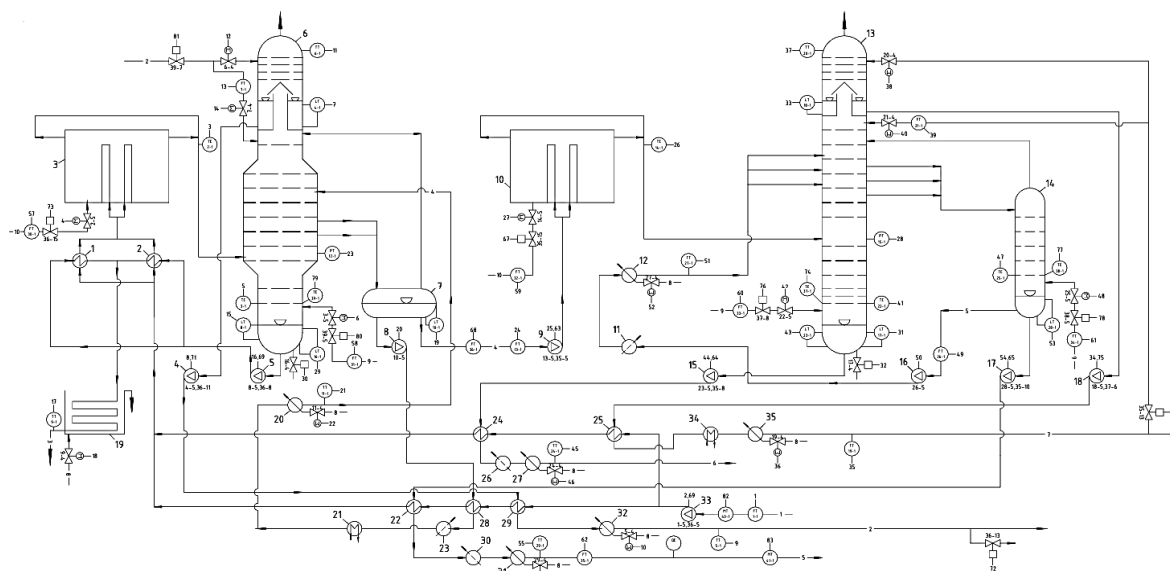
Целью работы является проектирование системы управления процессом двухступенчатой вакуумной перегонки мазута, включающее анализ технологической схемы, обоснованный выбор датчиков и исполнительных механизмов, разработку архитектуры контуров регулирования и системы противоаварийной защиты (ПАЗ), а также построение структуры комплексной автоматизации предприятия.

Результаты исследований

Технологический процесс установки двухступенчатой вакуумной перегонки мазута базируется на последовательном разделении сырья в двух сложных вакуумных колоннах тарельчатого типа. Сырье (мазут) после предварительного нагрева в блоке теплообменников поступает в трубчатую печь первой ступени, состоящую из конвекционной и радиантной секций, после чего подается в первую вакуумную колонну. Из куба первой колонны выводится гудрон, с полуглухой тарелки отводится соляр, а масляный дистиллят широкого фракционного состава собирается в вакуумном приемнике (ресивере). Балансовое количество дистиллята нагревается во второй трубчатой печи и поступает во вторую вакуумную колонну, где разделяется на целевые продукты: парафинистый дистиллят (350-460 °С), автоловый (460-490 °С) и цилиндрический (начало кипения от 490 °С). Рециркуляция части дистиллятов и подача перегретого пара обеспечивают необходимое флегмовое число и эффективность массообмена.

Обоснование выбора технических средств полевого уровня проводилось на основе сравнительного анализа характеристик, стоимости и условий эксплуатации. Для измерения температур в диапазоне 50-150 °С выбран медный термометр сопротивления ОВЕН ДТС025, обладающий высокой точностью (класс допуска В) и надежностью. Для высокотемпературных потоков (150-600 °С), включая выходы печей и низа колонн, применены хромель-копелевые термопары ГК ТЕПЛОПРИБОР ТХК008 с защитной арматурой из нержавеющей

стали 12X18H10T. Измерение расхода высоковязких жидкостей (мазут, гудрон, дистилляты) реализовано с помощью ультразвуковых расходомеров УЗС-1М, которые обеспечивают высокую точность (0,28 %), отсутствие гидравлического сопротивления и работоспособность в широком температурном диапазоне. Для учета расхода пара и топливного газа выбраны вихревые расходомеры ЭМИС-Вихрь-200, устойчивые к пульсациям потока. Контроль уровня в закрытых аппаратах, работающих под разрежением, осуществлен гидростатическими датчиками ОВЕН ПД100И с тензoeлектрическим сенсором. Давление контролируется тензорезистивными датчиками ЭМИС-БАР, способными функционировать при температурах контролируемой среды до 180 °С. Для оперативной оценки качества сырья и продукции в реальном времени в технологические линии интегрированы поточные вискозиметры SocTrade XL-7. Регулирование потоков выполняется односедельными клапанами производства НЕФТЕХИМ ИНЖИНИРИНГ, а функции аварийного отключения обеспечивают клапаны КМО-Э, выдерживающие температуры до 650 °С.



Функциональная схема

В качестве основного программируемого логического контроллера (ПЛК) для реализации алгоритмов управления выбран Regul R500, отличающийся высоким быстродействием, модульной архитектурой.

Для системы ПАЗ, ответственной за предотвращение аварий при падении уровня в кубах колонн или критическом повышении температуры, использован контроллер Regul R500 S, сертифицированный на уровень полноты безопасности SIL3 (УПБЗ) по ГОСТ Р МЭК 61508.

Информационное взаимодействие в системе организовано по протоколу OPC UA, обеспечивающему защищенную кроссплатформенную передачу телеметрии от сервера контроллеров в базу данных PostgreSQL. Сетевая инфраструктура сегментирована межсетевыми экранами (Firewall) для изоляции технологической сети от корпоративной. Доступ к внешним сервисам осуществляется через демилитаризованную зону (DMZ), где размещены почтовый и WEB-серверы, что исключает несанкционированный доступ к контурам управления.

Заключение

В результате проведенного исследования была разработана комплексная система автоматизации установки двухступенчатой вакуумной перегонки мазута, отвечающая современным требованиям нефтеперерабатывающей промышленности. Выполненный анализ технологической схемы позволил определить полный перечень контролируемых и регулируемых параметров, а также уровни их аварийной сигнализации. Обоснованный выбор датчиков температуры, расхода, уровня, давления и вискозиметров обеспечивает высокую точность измерений в агрессивных и термически напряженных средах. Внедрение разработанной системы позволит повысить стабильность работы установки, увеличить выход целевых масляных фракций, снизить эксплуатационные затраты и минимизировать техногенные риски.

Список литературы

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – 10 изд., стереотипное, дораб. / А.Г. Касаткин. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.
2. ГОСТ 21.208-2013. Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, 2013.
3. Контрольно-измерительные приборы ОВЕН: каталог продукции [Электронный ресурс]. – URL: <https://owen.ru/> (дата обращения: 15.03.2024).
4. Каталог продукции ЭМИСС: датчики и расходомеры [Электронный ресурс]. – URL: <https://emiss.ru/> (дата обращения: 15.03.2024).
5. Программно-технические комплексы РегЛаб: контроллеры Regul R500 [Электронный ресурс]. – URL: <https://reglab.ru/> (дата обращения: 15.03.2024).
6. ГОСТ Р МЭК 61508-2012. Функциональная безопасность систем электрических/электронных/программируемых электронных, связанных с безопасностью. – М.: Стандартинформ, 2012.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ПОЛУНЕПРЕРЫВНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЫЛЬНЫХ СМАЗОК

С.А. Кустов, А.А. Рыжова

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет»,
г. Казань

Аннотация. В данной статье рассмотрена разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом установки полунепрерывного производства мыльных смазок. Определены параметры, подлежащие контролю, регулированию и сигнализации. Обоснован выбор технических средств автоматизации, контроллеров системы управления и противоаварийной защиты.

Мыльные смазки составляют большую часть производства консистентных смазочных материалов и находят широкое применение в различных узлах и агрегатах машин и механизмов. Загустителями в мыльных смазках служат соли высших жирных кислот. Современные смазки должны обладать высокой температурой кипения, низкой температурой застывания, высоким индексом вязкости, термической стабильностью и устойчивостью к воздействию воды.

Технологическая схема установки включает следующие основные секции: подачи сырья и подготовки увлажнённой мыльно-масляной смеси, удаления воды и термомеханического измельчения частиц загустителя, кристаллизации и охлаждения готового продукта. Масло, присадки и мыльный загуститель из сырьевых приёмников (температура 60 °С) дозировочными насосами подаются в реакторы, где поддерживается постоянная температура 120 °С путём нагрева паром. В реакторах происходит постоянная гомогенизация смеси с помощью гомогенизирующих клапанов.

Полученная мыльно-масляная реакционная смесь перекачивается в выпарной аппарат, где при температуре 150 °С и разрежении -0,05 МПа происходит удаление влаги. Обезвоженная смесь нагревается до 180°С в скребковом нагревателе, после чего поступает в мешалку для термообработки. Затем смесь охлаждается до 150°С в скребковом холодильнике и поступает в аппарат фильтрации, гомогенизации и деаэрации, где вязкость доводится до 75 мм²/с.

Готовая смазка направляется в сборник-накопитель, а некондиционный продукт возвращается на доработку.

На рисунке представлена схема процесса производства мыльных смазок полунепрерывным методом.

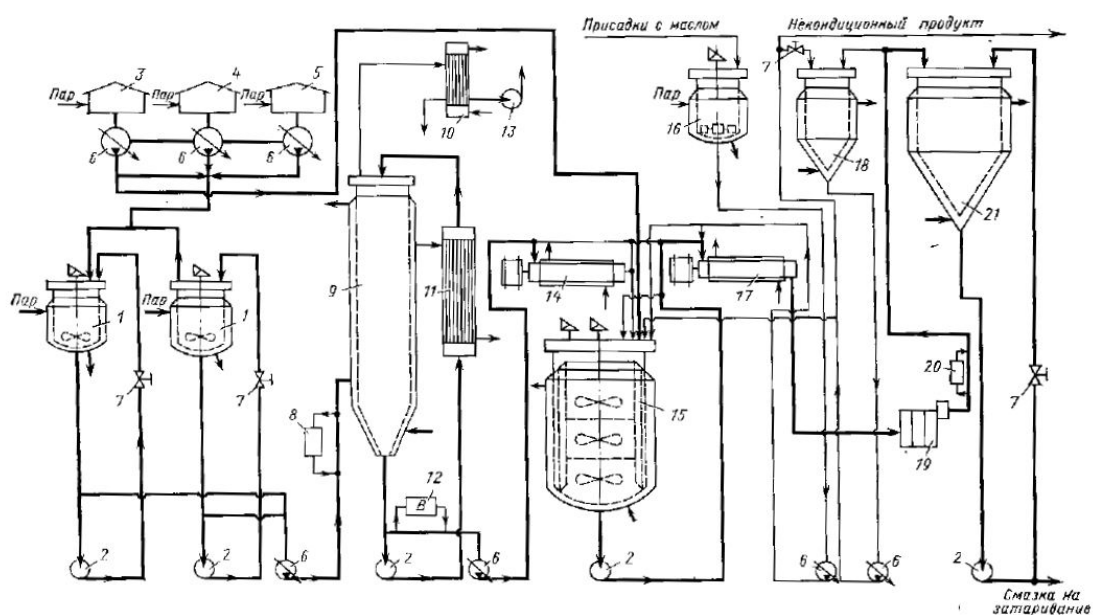


Схема процесса производства мыльных смазок

Как и в случае с любым другим технологическим процессом, для повышения эффективности и безопасности производства нужно точно

определить параметры, подлежащие контролю, регулированию, сигнализации и защите. Такими параметрами являются давление, уровень и температура, как факторы правильного протекания технологического процесса, а также вязкость готовой мыльной смазки. Для своевременного контроля за данными параметрами в системе используется большое количество датчиков, таких как термопреобразователи сопротивления, уровнемеры, вибрационные вискозиметры и многое другое.

В качестве промышленного контроллера системы управления выбран Regul R500 от компании «Прософт», г. Екатеринбург. Контроллер Regul R500 обладает следующими преимуществами:

- Высокое быстродействие (процессор 1,93 ГГц);
- Надёжность и отказоустойчивость;
- Поддержка современных протоколов (Ethernet);
- Срок службы: 15 лет;
- Оптимальная стоимость (150 000 руб.);
- Возможность расширения модульной системы.

Для системы противоаварийной защиты (ПАЗ) выбран контроллер Regul R500S того же производителя, что обеспечивает совместимость и упрощает обслуживание.

Рассмотренная система АСУТП соответствует современным требованиям промышленной автоматизации и может служить типовым решением для аналогичных производств.

Список литературы

1. Патмаева Ю.В., Гариева Ф.Р. Производство смазок: технологические решения // CyberLeninka. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proizvodstvo-smazok-tehnologicheskie-resheniya/>
2. Иванова Г.В. Автоматизация технологических процессов основных химических производств: методическое пособие. Часть 1 / Г.В. Иванова. - СПбГТИ(ТУ), 2003. - 37 с.
3. Каталог МЕТРАН. URL: <https://mtn.pro-solution.ru/>
4. Теплоприбор.рф. URL: <http://теплоприбор.рф/>

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОЧИСТКИ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ

А.А. Рыжова, С.А. Илларионов
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет»,
г. Казань

Аннотация. В данной работе рассмотрена внедрение автоматизированной системы управления технологическим процессом очистки нефтяных остатков парными растворителями. Рассмотрена технология производства, определены параметры, которые

важно контролировать, регулировать, а также приведен оптимальный выбор контроллерного и полевого оборудования.

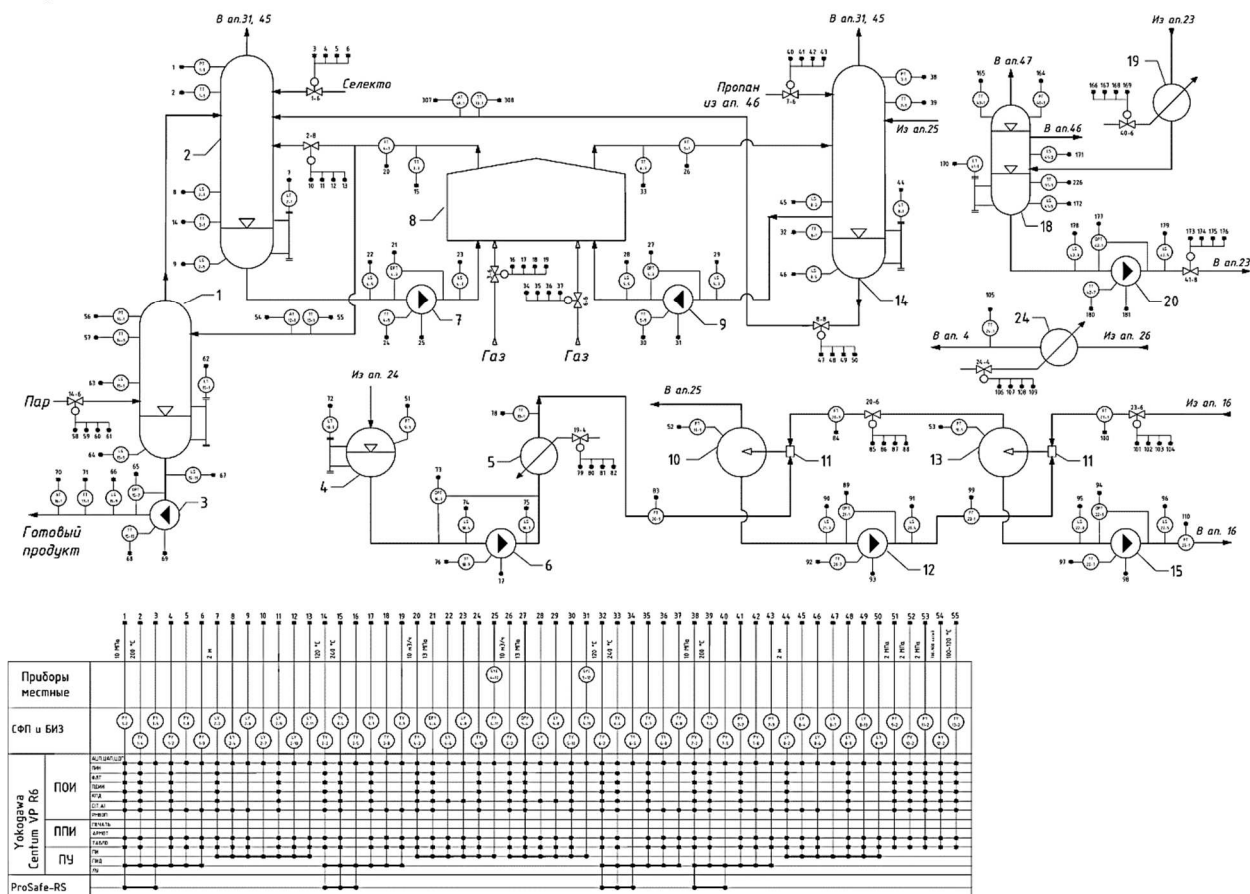
Ключевые слова: автоматизация, технические средства, безопасность.

Введение

В современных условиях развития нефтеперерабатывающей промышленности особую актуальность приобретает внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Цель работы: внедрение АСУ ТП на установке очистки нефтяных остатков парными растворителями, путем модернизации системы, а также обеспечение безопасности на данном производстве.

Общая характеристика установки. Технологическая установка представляет собой сложный комплекс оборудования, включающий секции экстракции, регенерации растворителей из экстрактного и водного растворов. Процесс очистки осуществляется с применением пропана, фенола и крезола, что требует особого внимания к вопросам безопасности. Разработанная функциональная схема автоматизации данного процесса представлена на рисунке.



Функциональная схема автоматизации процесса очистки.

Как и в случае с любым другим технологическим процессом, для повышения эффективности и безопасности производства нужно точно определить параметры, подлежащие контролю, регулированию, сигнализации и защите. Такими параметрами являются давление, температура, уровень и расход,

как факторы правильного протекания технологического процесса. Для своевременного контроля за данными параметрами в системе используется большое количество датчиков, таких как термопреобразователи сопротивления, тензорезистивные датчики давления и многие другие.

Рассматриваемый технологический процесс характеризуется высокой температурой и взрывоопасностью, что определило необходимость использования оборудования с уровнем взрывозащиты ПС Т2; применение датчиков с высокой точностью измерений; внедрение многоуровневой системы защиты и автоматизированный контроль критических параметров.

- В результате проведенного анализа в качестве технических средств автоматизации были выбраны следующие контрольно-измерительные приборы во взрывозащищенном исполнении: датчики температуры типа «Метран 271», датчики давления НПП «ГКС» КМ 35, кориолисовые расходомеры «ЭЛМЕТРО Фломак», емкостные уровнемеры VEGACAL 67. Система управления была реализована на базе программируемого логического контроллера REGUL R500 и контроллера системы противоаварийной защиты REGUL R500S, осуществляющие передачу данных на верхний уровень по сети Ethernet.

Внедрения АСУТП приведет к повышению точности регулирования технологических параметров; снижение влияния человеческого фактора; увеличение безопасности производственного процесса; оптимизации расходов энергоресурсов и повышение качества конечного продукта.

Заключение. Внедрение автоматизированной системы управления технологическим процессом очистки нефтяных остатков позволило создать современный, безопасный и эффективный производственный комплекс. Система обеспечивает стабильный контроль всех критических параметров процесса, что способствует повышению качества продукции и снижению производственных рисков.

Список литературы

1. ГОСТ Р 51330.099. Электрооборудование взрывозащищенное. Общие требования.
2. Официальный сайт компании «Метран» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.emerson.ru/ru-ru/automation/measurement-instrumentation/metran>, свободный.
3. Официальный сайт компании «ЭЛМЕТРО» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.elmetro.ru/>, свободный.
4. Официальный сайт компании «Vega» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.Vega-rus.ru>, свободный.
5. Официальный сайт компании «ProSoft» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.prosoft.ru>, свободный.
6. ПБ 09-540-03. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО СИНТЕЗА ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИМЕРА НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА REGUL R500

И.Р. Мударисов

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

***Аннотация.** В статье рассмотрена задача автоматизации непрерывного процесса производства поливинилацетата – синтетического термопластичного полимера. Предложена структура автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) с использованием отечественного программируемого логического контроллера Regul R500 и системы противоаварийной защиты (ПАЗ) Regul R500S.*

Производство синтетических термопластичных полимеров, в частности поливинилацетата (ПВА), относится к категории непрерывных, взрывопожароопасных и энергонапряженных технологических процессов. Поддержание заданного температурного режима в реакторах полимеризации, точное дозирование инициатора и метанола, а также стабилизация уровня в ректификационной колонне являются критическими факторами, определяющими качество конечного продукта (25 % раствора полимера в метаноле) и экономическую эффективность производства [1].

Традиционные системы ручного управления не обеспечивают требуемой точности и быстродействия при возникновении возмущений (например, изменение расхода сырья). Целью данной работы является разработка современной АСУТП непрерывным способом производства поливинилацетата, обеспечивающей стабилизацию параметров, информационную поддержку персонала и противоаварийную защиту.

1. Структура и элементы системы автоматизации

Технологический процесс включает стадии приготовления раствора инициатора, полимеризацию в двух последовательных реакторах и отгонку непрореагировавшего винилацетата в ректификационной колонне.

Функциональная схема автоматизации построена по иерархическому принципу и включает три уровня:

1. Полевой уровень: датчики и исполнительные механизмы.
2. Уровень контроллеров: логический контроллер Regul R500 (СУ) и резервированный Regul R500S (ПАЗ).
3. Уровень операторского управления: АРМ технолога, инженерные станции.

Обоснование выбора технических средств:

- Контроллер: Выбран Regul R500 (ООО «Прософт-Систем») благодаря частоте процессора 1,93 ГГц, поддержке протоколов Modbus TCP, OPC UA, Profibus DP, диапазону рабочих температур от -40 до +60°C и возможности «горячей» замены модулей. Для ПАЗ применён Regul R500S с сертификатом по взрывобезопасности.

- Измерение температуры (Т): термопреобразователь сопротивления ТОРГВ-1 («Олил») с выходным сигналом 4-20 мА, диапазон -100...+150 °С, класс допуска А. Применён для контроля температуры в полимеризаторах и теплообменниках.

- Измерение давления (Р): датчик АИР-20Ех/М2 (НПП «Элемер») с погрешностью $\pm 0,1\%$ и маркировкой взрывозащиты 0Ех ia IIВ Т6, установлен на верхней части колонны и полимеризаторах.

- Измерение уровня: гидростатический уровнемер ПД100И-ДГ1,6-167-0,25 («Овен») для контроля уровня в кубе колонны и испарителе.

2. Разработка алгоритмов и системы противоаварийной защиты

В работе описан алгоритм циклического опроса датчиков ($n = 52$), включающий операции масштабирования, фильтрации низких частот для исключения случайных помех и проверку на технологические границы. При выходе параметра за пределы уставки (например, давление в полимеризаторе) алгоритм предусматривает сохранение времени события, порядкового номера и передачу сигнала на запорную арматуру.

Система ПАЗ построена по принципу «fail-safe» (безопасный отказ). Защите подлежат:

- Превышение давления в верхней части полимеризаторов 1,2.
- Давление в байпасной линии.

При срабатывании защиты контроллер Regul R500S инициирует закрытие запорных клапанов ДН 15ч918п и отключение насосов через магнитные пускатели Basic ПМЛ-1160М. Барьеры искрозащиты КА5011Ех обеспечивают гальваническую развязку между взрывоопасной зоной и контроллерным оборудованием.

В результате выполнения работы спроектирована автоматизированная система управления непрерывным процессом синтеза поливинилацетата. С применением контроллеров Regul R500/R500S и современных датчиков достигнута стабилизация ключевых параметров. Разработанные мероприятия по безопасности и экономическое обоснование подтверждают готовность проекта к промышленной реализации.

Список литературы

1. Кузнецов Е.В. Альбом технологических систем производства полимеров / Е.В. Кузнецов, И.П. Прохорова, Д.А. Файзуллина. – М.: Химия, 1976. – 108 с.
2. Панарин В.М., Маслова А.А., Архипов А.В. Структура сенсорной сети информационно-измерительной системы оценки загрязнения атмосферного воздуха // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2024. – № 3. – С. 12-16.
3. Техничко-экономическое обоснование курсовых и дипломных проектов: метод. указания / сост. К.Д. Латыпов [и др.]. – Казань: КНИТУ, 2016. – 32 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ С НАНЕСЕНИЕМ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Качалова, А.А. Маслова
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** Технологические процессы с использованием методов нанесения материалов являются важным направлением современной промышленности, обеспечивающим повышение износостойкости, коррозионной стойкости, прочности и долговечности изделий. Применение различных способов нанесения покрытий позволяет улучшать эксплуатационные свойства деталей, восстанавливать изношенные поверхности и снижать материальные затраты.*

В условиях интенсивной эксплуатации детали подвергаются воздействию механических нагрузок, трения, вибраций, высоких температур, коррозионных сред и циклических деформаций. Во многих случаях разрушение изделия начинается именно с поверхности, поскольку поверхностный слой первым воспринимает действие внешних факторов [1].

По этой причине особое значение приобретают технологические процессы, основанные на нанесении материалов на поверхность изделий.

Под нанесением материалов понимают совокупность технологических операций, в результате которых на поверхность изделия формируется дополнительный слой вещества, связанный с основой механически, металлургически, химически или диффузионно. В зависимости от назначения покрытия оно может быть тонким декоративным, функциональным защитным либо толстым восстановительным слоем [1].

На современном этапе существует широкий спектр методов нанесения материалов, различающихся по физической природе процесса, используемому оборудованию, толщине получаемого слоя и эксплуатационным свойствам покрытия. К основным из них относятся гальванические, химические, газотермические, наплавочные, вакуумные, диффузионные и комбинированные методы [2].

Гальванические методы нанесения материалов – один из наиболее распространенных способов получения покрытий, процесс основан на электролизе: деталь помещается в электролит и подключается в качестве катода, а при прохождении постоянного тока ионы металла восстанавливаются на ее поверхности, образуя плотный металлический слой [3]. Наиболее часто используются цинкование, никелирование, хромирование, меднение, серебрение и лужение. Несмотря на широкое распространение, гальванические процессы требуют тщательной подготовки поверхности, обезжиривания, травления и промывки деталей.

Химические методы нанесения покрытий – покрытия формируются без использования внешнего источника электрического тока. Осаждение происходит вследствие химических реакций в растворе, где ионы металла восстанавливаются на поверхности изделия. Одним из наиболее известных

процессов является химическое никелирование [1], так же используются химическое меднение, фосфатирование, оксидирование и пассивирование.

Газотермические методы нанесения материалов – представляет собой процесс переноса расплавленных или размягченных частиц материала на поверхность детали струей газа высокой скорости. После удара о подложку частицы деформируются, охлаждаются и формируют покрытие слоистой структуры [2]. Различают газопламенное, электродуговое, плазменное, высокоскоростное и детонационное напыление. Преимуществом газотермических процессов является высокая производительность и возможность нанесения толстых слоев без значительного нагрева детали. Это особенно важно при ремонте изделий, чувствительных к термической деформации. Однако для ряда покрытий характерна повышенная пористость, поэтому иногда требуется дополнительная пропитка или механическая обработка [4].

Наплавка – относится к наиболее эффективным методам восстановления и упрочнения металлических деталей. Ее сущность состоит в расплавлении присадочного материала и нанесении его на поверхность изделия с образованием прочной металлургической связи [3]. Широко применяются дуговая, плазменная, лазерная и электрошлаковая наплавка. К недостаткам процесса относят возникновение остаточных напряжений, возможность коробления детали и необходимость последующей механической обработки.

С развитием высокотехнологичных отраслей особое значение получили *вакуумные методы нанесения покрытий*. Они осуществляются в герметичных камерах при пониженном давлении, что позволяет исключить загрязнение покрытия и точно управлять процессом осаждения [1]. Наиболее распространены технологии PVD и CVD. При физическом осаждении из паровой фазы материал испаряется или распыляется и конденсируется на поверхности детали. При химическом осаждении покрытие формируется в результате реакции газообразных веществ на нагретой подложке [2]. Такие покрытия отличаются высокой твердостью, малой толщиной и хорошей адгезией.

Диффузионные методы основаны на проникновении атомов насыщающего элемента в поверхностный слой металла при повышенной температуре. В результате образуется не отдельная пленка, а упрочненный поверхностный слой с измененным химическим составом [4]. К наиболее распространенным процессам относятся цементация, азотирование, борирование, хромирование и алюминирование. Главным преимуществом диффузионных процессов является высокая долговечность упрочненного слоя, поскольку отсутствует риск отслаивания покрытия.

На современном этапе активно развиваются композиционные и наноструктурированные покрытия, сочетающие несколько полезных свойств одновременно. Например, многослойные системы могут включать твердый подслой, промежуточный адгезионный слой и антифрикционное внешнее покрытие [3].

Значительное внимание уделяется экологической безопасности технологий. Производства постепенно отказываются от токсичных электролитов,

содержащих шестивалентный хром и цианиды, заменяя их более безопасными составами [2].

Расширяется использование роботизированных комплексов напыления, автоматического контроля толщины покрытия, компьютерного моделирования тепловых процессов и цифрового мониторинга качества поверхности. Это повышает повторяемость результатов и снижает влияние человеческого фактора. Перспективным направлением является совмещение аддитивных технологий с нанесением материалов, когда деталь одновременно формируется и упрочняется в процессе послойного построения.

Список литературы

1. *Оськин В.А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Книга 1 / В.А. Оськин, В.В. Евсиков. – КолосС, 2007. – 448 с.*
2. *Лахтин Ю.М. Основы металловедения / Ю.М. Лахтин. – Москва: Инфра-М, 2013. – 272 с.*
3. *Солнцев Ю.П. Технология конструкционных материалов / Ю.П. Солнцев, Б.С. Ермаков, В.Ю. Пирайнен. – Санкт-Петербург: Химиздат, 2024. – 504 с.*
4. *Лахтин Ю.М. Материаловедение: учебник для машиностроительных вузов / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – Москва: Машиностроение, 2019. – 528 с.*

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ: ПРИНЦИПЫ, МЕТОДЫ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

А.А. Гусак, А.А. Маслова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Рациональное проектирование технологических процессов является одним из определяющих факторов повышения эффективности современного машиностроительного производства. В условиях цифровизации промышленности, широкого внедрения автоматизированных систем и усиления конкурентной среды особую значимость приобретают задачи обеспечения высокой точности обработки, стабильного качества продукции и снижения себестоимости изготовления изделий. При этом именно на этапе технологической подготовки производства закладываются ключевые технико-экономические показатели, определяющие уровень производительности, ресурсной эффективности и конкурентоспособности предприятия [1].

Технологический процесс механической обработки представляет собой совокупность взаимосвязанных и последовательно выполняемых операций, направленных на изменение геометрической формы, размеров и физико-механического состояния поверхностного слоя заготовки с целью получения детали, полностью соответствующей требованиям конструкторской документа-

ции. Рационально разработанный технологический процесс обеспечивает эффективное использование оборудования, снижение трудоёмкости производства, уменьшение интенсивности износа режущего инструмента, сокращение доли брака и повышение стабильности качества выпускаемой продукции.

Важнейшим элементом рационального проектирования является разработка станочных операций, включающая выбор типа оборудования, режущего инструмента, технологической оснастки, а также назначение оптимальных режимов обработки и последовательности выполнения операций. При этом учитываются физико-механические свойства материала заготовки, конструктивно-технологические особенности детали, геометрия и износостойкость инструмента, условия охлаждения, а также уровень автоматизации и гибкости производственной системы. Комплексный учет указанных факторов позволяет повысить эффективность обработки и обеспечить требуемое качество поверхностей [2].

Одним из базовых принципов рационального проектирования технологических процессов является принцип комплексности, предполагающий системный учет совокупности факторов, влияющих на ход и результат обработки. Реализация данного принципа обеспечивает согласованность технологических решений, способствует снижению variability параметров процесса и повышению устойчивости производства к внешним и внутренним воздействиям.

Существенное значение имеет принцип оптимизации последовательности технологических операций. Рациональное формирование маршрута обработки позволяет сократить вспомогательное и подготовительно-заключительное время, минимизировать число переналадок оборудования, уменьшить холостые перемещения и, как следствие, повысить производительность труда. Кроме того, оптимизация последовательности операций способствует более равномерной загрузке оборудования и снижению производственных потерь.

Принцип стандартизации и унификации технологических процессов ориентирован на применение типовых технологических решений, стандартного инструмента и унифицированной оснастки. Его реализация позволяет сократить сроки технологической подготовки производства, снизить затраты на разработку и внедрение процессов, а также повысить воспроизводимость и стабильность качества выпускаемой продукции.

Неотъемлемым элементом рационального проектирования является обеспечение требуемой точности и качества обработки. Контроль параметров технологического процесса осуществляется на всех стадиях производства с использованием современных измерительных средств, контрольно-измерительных приборов и автоматизированных систем мониторинга. Применение цифровых методов контроля позволяет оперативно выявлять отклонения от заданных параметров и своевременно корректировать технологический процесс [3].

Разработка технологического процесса механической обработки включает выбор вида заготовки (литой, ковальной, штампованной или прокатной),

определение технологических баз, построение маршрута обработки, разделение операций на черновые, получистовые и чистовые, а также расчет и обоснование режимов резания. Рациональный выбор заготовки способствует снижению объема механической обработки и уменьшению материалоемкости изделия, а оптимальное распределение операций между станками обеспечивает эффективное использование производственных мощностей.

Значительную роль в современных условиях играют типовые и групповые технологические процессы. Типовые процессы применяются для изготовления деталей с аналогичными конструктивными и технологическими признаками, что позволяет существенно сократить время разработки технологической документации и повысить уровень унификации производства. Групповые технологические процессы ориентированы на обработку различных деталей, объединённых по признаку технологического сходства, с использованием единого оборудования и оснастки. Такой подход обеспечивает снижение времени переналадки, повышение коэффициента загрузки оборудования и снижение себестоимости продукции, приближая эффективность единичного производства к серийному.

В условиях цифровой трансформации промышленности всё более широкое распространение получают системы автоматизированного проектирования технологических процессов. Их применение позволяет моделировать технологические операции, анализировать различные варианты обработки, оптимизировать режимы резания и снижать влияние человеческого фактора на принимаемые решения. Использование цифровых технологий способствует повышению точности планирования, гибкости производства и его адаптивности к изменяющимся условиям внешней среды.

Таким образом, рациональное проектирование технологических процессов представляет собой комплексную инженерную задачу, направленную на обеспечение высокой эффективности машиностроительного производства. Реализация принципов комплексности, оптимизации, стандартизации и цифровизации позволяет обеспечить высокое качество продукции, снижение затрат, повышение производительности труда и устойчивое развитие предприятия в условиях современной промышленной экономики.

Список литературы

1. Базров Б.М. *Основы технологии машиностроения: учебник* / Б.М. Базров. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : ИНФРА-М, 2020. – 683 с.
2. Оганесян О.В. *Современные технологии, используемые на стадии производства, применительно к различным фазам жизненного цикла изделий и деталей машин* / О.В. Оганесян, О.В. Бурлаченко // *Транспортное машиностроение*. – 2023. – №3 (15). – С. 21-29.
3. Кармишин А.А., Макаров В.М., Лукина С.В. *Киберфизические производственные системы. Ритм машиностроения. [Электронный ресурс]*. URL: <https://ritm-magazine.com/ru/magazines/2022/zhurnal-ritm-mashinostroeniya-no-9-2022#page-1>.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ ЛАБОРАТОРНЫМ СТЕНДОМ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ REGUL R500

Р.Р. Латыпова, Р.К. Нургалиев

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

Аннотация. В статье рассмотрена структура автоматизированной системы управления учебным лабораторным стендом, предназначенным для изучения контроллерного оборудования Regul R500 и типовых решений АСУ ТП. Описаны технологическая часть установки, состав контрольно-измерительных приборов, исполнительных механизмов, схемы подключения внешних проводок и возможные алгоритмы управления. Показано, что стенд позволяет отрабатывать полный цикл работы с объектом автоматизации: от анализа схемы и подключения датчиков до обработки сигналов 4-20 мА, формирования блокировок, управления насосами и клапанами и разработки операторского интерфейса.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, лабораторный стенд, Regul R500, АСУ ТП, ПЛК, датчик уровня, датчик давления, расходомер, внешние проводки, НМИ.

Введение

Практическая подготовка специалистов по автоматизации технологических процессов требует оборудования, на котором можно безопасно изучать реальные принципы построения промышленных систем управления. Одних программных симуляторов для такой подготовки недостаточно: обучающийся должен видеть физический объект, измерительный канал, исполнительное устройство, шкаф автоматизации и связь между ними. Поэтому учебный лабораторный стенд целесообразно рассматривать как уменьшенную модель промышленного объекта, а не только как демонстрационный макет.

Актуальность разработки связана с необходимостью подготовки инженерных кадров, способных работать с отечественными и доступными средствами автоматизации. Контроллерное оборудование Regul R500 может применяться как основа учебного комплекса, в котором отрабатываются задачи программирования ПЛК, настройки каналов ввода-вывода, разработки алгоритмов регулирования и создания человеко-машинного интерфейса. При этом ценность стенда определяется не только самим контроллером, но и корректностью всей инженерной обвязки: приборов КИПиА, кабельных линий, заземления, маркировки и исполнительной арматуры.

Цель статьи – представить самостоятельное описание автоматизированной системы управления лабораторным стендом на базе Regul R500 с учетом фактического состава оборудования и актуальной рабочей документации. В качестве объекта рассмотрена гидравлическая установка, позволяющая моделировать процессы подачи и циркуляции воды, контроля уровня, давления, расхода и температуры, а также выполнять учебные задания по настройке и проверке алгоритмов управления.

1. Технологическая структура стенда

Лабораторный стенд представляет собой гидравлическую установку с несколькими емкостями, трубопроводными участками, насосным оборудованием, запорной и электромагнитной арматурой. Основными технологическими узлами являются емкости Е-1, Е-2 и Е-3, циркуляционные насосы Н-1 и Н-2, запорный клапан ZK1, регулирующий/управляющий клапан ZRK1 и группа электромагнитных клапанов ZK2-ZK9. Подача воды осуществляется от водопроводной линии, после чего поток может перераспределяться между участками стенда в зависимости от положения клапанов и режима работы насосов.

Схема стенда позволяет показать взаимосвязь основных параметров технологического процесса. Уровень в емкостях влияет на допустимость включения насосов, расход зависит от состояния арматуры и гидравлического сопротивления, а давление изменяется при переключении потоков и работе насосного оборудования. Температурная точка используется для регистрации состояния жидкости и может быть включена в информационные или защитные алгоритмы.

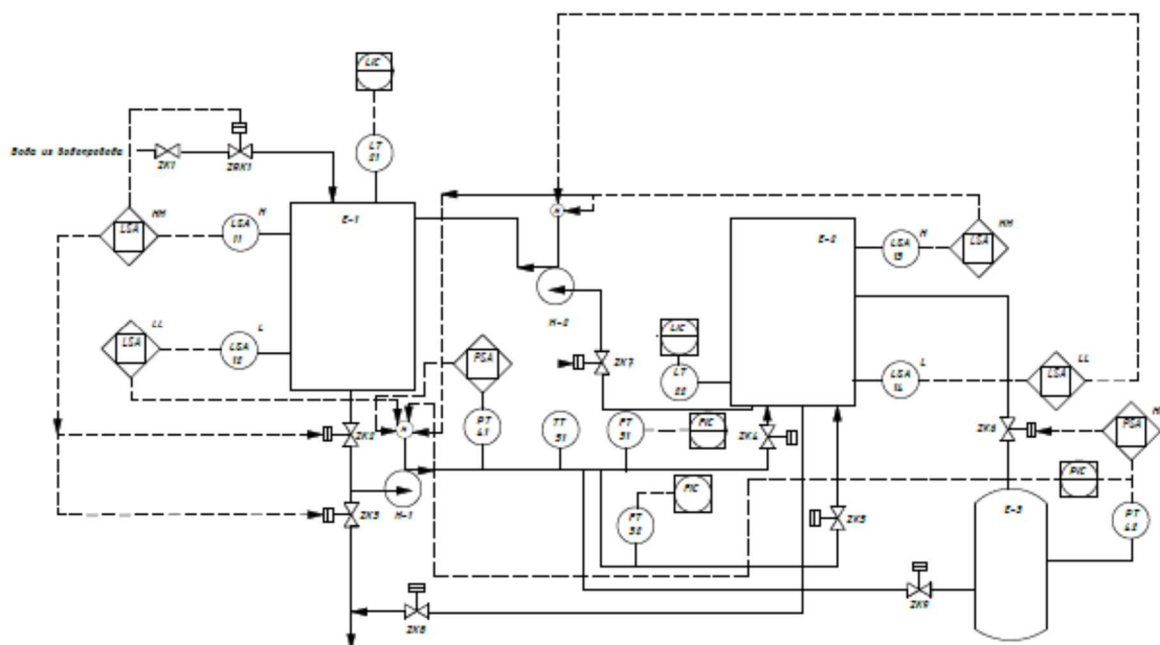


Рис. 1. Технологическая схема учебного стенда

На рисунке 1 приведена схема, отражающая не монтажную детализацию, а функциональную логику объекта: емкости, насосы, клапаны и основные измерительные точки. Такой вид удобен для учебной работы, поскольку помогает связать позиционные обозначения приборов с контролируемыми параметрами и с последующими действиями алгоритма управления.

2. Контролируемые параметры и состав технических средств

Автоматизированная система стенда ориентирована на комплексный контроль технологических параметров. Для непрерывного измерения уровня в емкостях Е-1 и Е-2 применяются уровнемеры LT21 и LT22. Предельные уровни

контролируются дискретными датчиками LSA11-LSA14. Давление измеряется преобразователями РТ41 и РТ42, расход – расходомерами FT31 и FT32, температура – датчиком ТТ51. Исполнительная часть включает насосы Н-1, Н-2 и электромагнитные клапаны, работающие от сети 220 В.

Основные элементы КИПиА и исполнительного оборудования

Позиция	Назначение	Оборудование характеристика	Сигнал питание	Кол.
LT21, LT22	Измерение уровня в Е-1, Е-2	Уровнемер LG250-5881- 5AE27, диапазон до 500 мм	4-20 мА	2
LSA11- LSA14	Контроль предельных уровней	Емкостный датчик ВВЕ- Ф60-40У-2111-3А	дискретный	4
ТТ51	Контроль температуры	Датчик температуры Метран-288-03	4-20 мА	1
РТ41	Измерение давления на трубопроводе	Преобразователь давления Метран 75, 0-5 МПа	4-20 мА	1
РТ42	Измерение давления в Е-3	Метран 55-ДИ, 0-2,5 МПа	4-20 мА	1
FT31, FT32	Измерение расхода	Расходомер Метран- 300ПР-32-А-0.01-01-С- К1	имп./4-20 мА по схеме	2
ZK1	Запорная арматура	Клапан запорный Ду=25 мм, 16 МПа	-	1
ZRK1, ZK2- ZK9	Управление потоками	Электромагнитный клапан VS2W-300N-NC, Ду25, Ру10	220 В	9
Н-1, Н-2	Перекачка жидкости	Насос Джилекс Циркуль 25/60 2560	220 В	2

Такой состав средств автоматизации дает возможность последовательно изучать разные типы каналов. Аналоговые измерения используются для масштабирования физической величины в инженерные единицы и диагностики обрыва линии. Дискретные сигналы уровня применяются в логике блокировок и аварийной сигнализации. Электромагнитные клапаны и насосы позволяют оценивать реакцию технологического объекта на управляющее воздействие, а также проверять корректность переходов между ручным, наладочным и автоматическим режимами.

3. Архитектура автоматизированной системы управления

АСУ стенда может быть представлена в виде трех уровней. Нижний уровень образуют датчики, исполнительные механизмы и технологический объект. Средний уровень включает шкаф автоматизации с контроллерным

оборудованием Regul R500, модулями ввода-вывода и цепями питания. Верхний уровень связан с инженерной станцией и операторским интерфейсом, где выполняется разработка программы, настройка параметров, отображение текущих значений и регистрация нештатных событий.



Рис. 2. Структурная схема автоматизированной системы управления

Информационный поток начинается с первичных преобразователей. Сигнал датчика поступает на соответствующий вход контроллера, преобразуется в цифровое значение, масштабируется, фильтруется и сравнивается с уставками. Далее программа формирует управляющее воздействие: включает или отключает насос, открывает клапан, запрещает опасное действие либо выводит предупреждение на операторский экран. За счет обратной связи оператор и обучающийся видят, как изменение состояния исполнительного механизма влияет на уровень, расход или давление.

В учебном режиме целесообразно предусмотреть несколько сценариев работы. Первый сценарий – ручное управление, при котором оператор самостоятельно включает насосы и клапаны с учетом разрешающих условий. Второй сценарий – автоматическое заполнение емкости до заданного уровня. Третий сценарий – контроль расхода через выбранный участок трубопровода. Четвертый сценарий – защитная остановка при достижении предельного уровня или при недостоверном аналоговом сигнале. Такая структура позволяет постепенно усложнять задания и переходить от простого ввода-вывода к полноценной логике АСУ ТП.

4. Внешние проводки, монтаж и безопасность

Рабочая документация стенда фиксирует не только перечень приборов, но и требования к соединениям. Для измерительных линий и промышленного интерфейса предусмотрен симметричный кабель КИПЭВнг(А)-LS 2х2х0,6. Для силовых цепей исполнительных устройств применяется ВВГнг(А)-LS 3х1,5. Защитное заземление выполняется желто-зеленым проводом ПуГВ 1х4, при этом заземлению подлежат металлические нетоковедущие части электроустановок, соединительные коробки, кабельные конструкции и другие элементы крепления электропроводок. Отдельное требование – маркировка всех кабелей и жил, что

особенно важно для учебного объекта: слушатель должен уметь сопоставлять позицию на схеме, номер жилы и фактическую точку подключения.

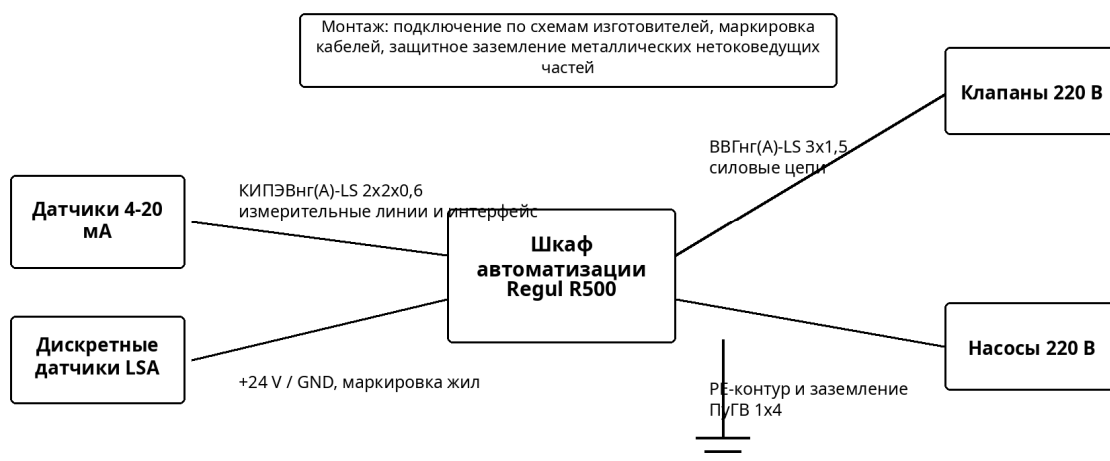


Рис. 3. Обобщенная схема организации внешних проводов

С точки зрения безопасности алгоритмы управления должны учитывать возможные ошибки оператора и отказ отдельных датчиков. Минимальный набор защит включает запрет включения насосов при нижнем уровне, сигнализацию верхнего уровня, останов насосного оборудования при аварийном состоянии, контроль достоверности токовых сигналов 4-20 мА и перевод клапанов в безопасное состояние при останове системы. Такие функции не являются избыточными даже для учебной установки, поскольку они формируют правильную инженерную культуру работы с объектом автоматизации.

5. Образовательное применение стенда

Лабораторный стенд может использоваться в программах подготовки и повышения квалификации по промышленной автоматизации. Его преимущество состоит в том, что в одном объекте объединены разные виды сигналов и типовые элементы АСУ ТП. На начальном этапе обучающиеся изучают состав схемы, назначение позиционных обозначений и правила подключения. Затем выполняется проверка отдельных каналов: считывание дискретных датчиков LSA, масштабирование уровня LT, настройка давления РТ, опрос расходомеров FT и вывод значений на экран HMI.

На следующем этапе стенд может применяться для разработки алгоритмов управления. Примером простого задания является заполнение емкости Е-1 до заданного уровня с блокировкой по аварийному сигналу LSA11. Более сложная работа может включать переключение потоков между емкостями, регистрацию трендов уровня и расхода, обработку недостоверного сигнала и формирование журнала аварий. Для закрепления материала целесообразно использовать задания, в которых обучающийся сначала читает рабочую схему, затем настраивает входы и выходы в проекте, после этого пишет программу и проверяет ее на реальном объекте.

Методически стенд удобен тем, что позволяет связать четыре стороны инженерной подготовки: технологическое понимание процесса, проектную

документацию, монтажно-наладочные решения и программирование ПЛК. В результате обучающийся видит не отдельные абстрактные команды языка программирования, а полный контур: физический датчик - кабельная линия – модуль ввода – переменная программы – алгоритм – выходной модуль – исполнительный механизм – изменение состояния объекта.

Заключение

Автоматизированная система управления лабораторным стендом на базе Regul R500 представляет собой учебно-практический комплекс, объединяющий гидравлический объект, измерительные каналы, исполнительные механизмы, шкаф автоматизации и программные средства разработки. Фактический состав стенда включает уровнемеры LT21 и LT22, дискретные датчики предельных уровней LSA11-LSA14, датчики давления PT41 и PT42, расходомеры FT31 и FT32, датчик температуры TT51, насосы Н-1 и Н-2, запорную и электромагнитную арматуру.

Практическая ценность системы состоит в возможности отработки реальных задач АСУ ТП: подключения КИПиА, работы с сигналами 4-20 мА, настройки дискретных и аналоговых каналов, разработки блокировок, управления насосами и клапанами, создания операторского интерфейса и анализа технологических параметров. За счет этого стенд может использоваться для лабораторных работ, проектного обучения и подготовки специалистов, работающих с современными контроллерными системами.

Дальнейшее развитие учебного комплекса может быть связано с созданием набора типовых проектов CoDeSys и AstraRegul, разработкой методических указаний, формированием библиотеки аварийных сценариев и экспериментальной проверкой алгоритмов регулирования уровня, расхода и давления на действующем стенде.

Список литературы

1. ГОСТ Р 21.101-2020. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации.
2. ГОСТ 21.208-2013. Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации.
3. СП 77.13330.2016. Системы автоматизации. Актуализированная редакция СНиП 3.05.07-85.
4. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издания 6, 7.
5. ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016. Контроллеры программируемые. Часть 3. Языки программирования.
6. Документация на контроллерное оборудование Regul R500 и программные средства AstraRegul. Руководства пользователя и материалы производителя.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ ЖЕЛЕЗА, ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ, В МЕТАЛЛУРГИИ

И.А. Ерёмчев, А.А. Маслова
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация.** в работе рассмотрены технологические процессы механической обработки без снятия материала, основанные на пластическом деформировании. Показаны преимущества данных методов перед обработкой резанием.*

Актуальность и экономическая целесообразность широкого внедрения методов обработки без снятия материала в промышленности обусловлена рядом неоспоримых преимуществ по сравнению с обработкой резанием. Во-первых, это высокий коэффициент использования материала (КИМ): при штамповке или выдавливании он достигает 95-98 %, тогда как при резании потери металла в стружку могут составлять 30-40 %, что особенно критично при работе с дорогими легированными сталями и цветными металлами. Во-вторых, в процессе пластической деформации происходит упрочнение (наклеп) поверхностного слоя и формирование благоприятных сжимающих остаточных напряжений, что существенно повышает усталостную прочность, износостойкость и долговечность готовых деталей. В-третьих, производительность этих методов часто в несколько раз выше, а энергозатраты на единицу продукции – ниже, чем при снятии стружки.

Методы обработки без снятия материала можно классифицировать по нескольким признакам. По технологическому назначению они подразделяются на три основные группы: формообразующие методы (процессы, в результате которых изменяются форма и размеры заготовки – штамповка, прессование, волочение, гибка); отделочно-упрочняющие методы (процессы, направленные на снижение шероховатости поверхности и повышение её физико-механических свойств – обкатывание, выглаживание, дробеструйная обработка); комбинированные методы (сочетающие пластическое деформирование с другими видами воздействия, например термомеханическая обработка). По характеру нагрузки различают статические методы (обкатывание, дорнование) и динамические методы (дробеструйный наклеп, ударная чеканка). По степени воздействия на заготовку выделяют методы размерной обработки, где форма и размеры детали полностью определяются процессом деформирования, и методы безразмерной обработки, при которых изменяется только качество поверхности [1].

В основе всех методов обработки без снятия материала лежит явление пластической деформации – способность материала необратимо изменять свою форму и размеры под действием внешних сил без разрушения. Пластическая деформация металлов осуществляется путем скольжения (дислокационного механизма) и двойникования. Для успешного осуществления процессов

обработки давлением материал должен обладать достаточной пластичностью. При холодной обработке давлением происходит наклеп – упрочнение металла вследствие изменения его структуры. Это явление может быть как полезным (повышение прочности и твердости поверхностного слоя), так и требующим промежуточной термической обработки для снятия внутренних напряжений. Важными характеристиками процессов ОМД являются напряженное и деформированное состояния, которые описываются с помощью тензоров напряжений и деформаций. Понимание этих закономерностей позволяет рассчитывать необходимые усилия и выбирать оптимальные режимы обработки.

Объемная штамповка представляет собой процесс пластического деформирования заготовки в замкнутой полости (штампе), в результате которого материал приобретает форму, соответствующую полости штампа. Различают горячую и холодную объемную штамповку. Холодная штамповка обеспечивает более высокую точность размеров и лучшее качество поверхности, но требует больших усилий и применяется для пластичных материалов. Листовая штамповка предназначена для изготовления деталей из листового материала. Основные операции включают: вырубку и пробивку отверстий, гибку, вытяжку, отбортовку и обжим. Листовая штамповка широко применяется в автомобилестроении, авиастроении и производстве бытовой техники. Прессование (экструдирование) – это процесс выдавливания материала через формующее отверстие (матрицу) для получения прутков, профилей и труб. Различают прямое и обратное прессование. Волочение – процесс протягивания заготовки через сужающееся отверстие волоки, применяемый для получения проволоки и тонкостенных труб. Накатка – процесс формообразования резьбы, шлицев и рифлений методом пластического деформирования с помощью вращающихся роликов. Этот метод обеспечивает более высокую прочность резьбы по сравнению с нарезанием благодаря отсутствию концентраторов напряжений и наличию наклепа [1-2].

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) представляет собой совокупность технологических методов финишной и упрочняющей обработки, при которых упрочнение и изменение микрорельефа поверхностного слоя детали достигаются за счет локального пластического течения материала под действием внедряющегося инструмента (шарика, ролика, алмазного наконечника, дроби). В отличие от резания, где материал удаляется, при ППД происходит его перераспределение: микронеровности (гребешки) сминаются, а металл выдавливается во впадины. Основные физические эффекты, возникающие при ППД: упрочнение (наклеп) – повышение твердости и предела текучести поверхностного слоя на глубину от 0,05 до 1,5 мм (твердость может увеличиться в 1,5-2 раза); формирование сжимающих остаточных напряжений – критически важный фактор, препятствующий зарождению и развитию усталостных трещин (сжимающие напряжения на поверхности могут достигать 500-800 МПа); сглаживание микровыступов – снижение шероховатости с исходной $Rz\ 3,2-6,3\ \mu\text{м}$ до $Ra\ 0,05-0,2\ \mu\text{м}$, что приближается к параметрам полирования или суперфиниширования; улучшение прирабатываемости – микропластические деформации создают на поверхности «чешуйчатую» структуру, удерживающую

смазку и способствующую более быстрой и стабильной приработке трущихся пар.

Обкатывание применяется для обработки наружных цилиндрических и конических поверхностей. Инструмент – ролик или шарик из закаленной стали или твердого сплава, свободно вращающийся в обойме. Прижим усилием (обычно 200-1000 Н) заставляет ролик внедряться в поверхность детали, которая вращается со скоростью до 100-150 м/мин. Продольная подача составляет 0,1-0,3 мм/об. Раскатывание – аналог для внутренних отверстий. Инструмент (раскатка) содержит несколько конусных роликов или шариков, которые расширяются при вращении, пластически деформируя стенки отверстия. Позволяет заменить хонингование и шлифование для отверстий диаметром от 10 до 500 мм. Алмазное выглаживание – наиболее точный метод ППД. В качестве инструмента используется индентор (наконечник) из природного или синтетического алмаза с радиусом закругления 1-4 мм. Алмаз выдерживает огромные контактные давления (до 10 000 МПа) без износа и не налипает обрабатываемый материал. Дробеструйная обработка – в этом методе роль инструмента выполняют множество стальных, чугунных или керамических частиц (дробь) диаметром 0,5-3 мм. Дробь разгоняется центробежным колесом или сжатым воздухом до скорости 50-100 м/с и хаотично ударяет по поверхности детали. Каждый удар вызывает микро-пластическую деформацию. Вибрационное ППД (ударно-вибрационный наклеп) – инструменту (шарику или бойку) придаются высокочастотные осциллирующие движения (обычно 50-200 Гц) с небольшой амплитудой (0,1-1 мм). При этом между инструментом и деталью возникают серии коротких ударных импульсов. Преимущества этого метода: возможность обработки труднодоступных мест (галтели, канавки, переходные радиусы); упрочнение тонкостенных деталей, не допускающих статического прижима; меньшая шероховатость по сравнению с дробеструйной обработкой [2].

Развитие технологий привело к созданию комбинированных методов, объединяющих пластическое деформирование с другими видами воздействия. Комбинированные методы обработки представляют собой технологические процессы, в которых пластическое деформирование (основа методов без снятия материала) сочетается с одним или несколькими дополнительными видами энергетического воздействия на обрабатываемую заготовку. К таким воздействиям относятся: термическое (нагрев), электрическое (токи высокой частоты, электроконтактный нагрев), ультразвуковое, магнитное, а также химическое или термохимическое (диффузионное насыщение). По виду дополнительной энергии, вводимой в зону обработки, комбинированные методы делятся на: термомеханические (сочетание нагрева и пластического деформирования); электромеханические (сочетание электрического тока и деформирования); ультразвуковые (наложение высокочастотных механических колебаний); химико-механические (сочетание деформирования с диффузионным насыщением); магнитно-импульсные (использование импульсных магнитных полей для создания деформирующих усилий).

Комбинированные методы обработки без снятия материала представляют собой наиболее динамично развивающуюся область технологии машиностроения. Синергическое сочетание пластической деформации с термическим, электрическим, ультразвуковым или магнитным воздействием позволяет не только повысить производительность и снизить энергозатраты, но и получить качественно новые эксплуатационные свойства деталей – сверхвысокую твердость, уникальную усталостную прочность, низкую шероховатость и коррозионную стойкость, недостижимые при раздельном применении традиционных процессов. Дальнейшее развитие этих методов связано с цифровым управлением энергией воздействия (адаптивные системы, отслеживающие температуру и деформацию в реальном времени), созданием гибридных станков, объединяющих несколько видов обработки, и внедрением наноструктурированных инструментальных материалов. Перспективным направлением является также применение инструмента с регулярным микрорельефом рабочих поверхностей и специальных металлоплакирующих смазочных материалов, что позволяет повысить эффективность процессов деформирования и улучшить качество обработанной поверхности [3].

Список литературы

1. Каргин В.Р. Теория обработки металлов давлением: учеб. пособие / В.Р. Каргин, Б.В. Каргин. Самара. – Изд-во Самарского университета, 2019. – 112 с.
2. Эдигаров В.Р. Классификация комбинированных методов обработки на основе электромеханического упрочнения / В.Р. Эдигаров, И.Ю. Килунин, В.В. Дегтярь // *Современные наукоемкие технологии*. – 2012. – №3. – С. 32-35.
3. Дудкина Н.Г. Влияние комбинированной обработки эо + ППД на демпфирующие свойства среднеуглеродистой стали / Н.Г. Дудкина, В.В. Чекунов // *Металлообработка*. – 2016. – №1. – С.36-40.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

М.А. Кудрявцев, А.А. Маслова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. В статье рассмотрены теоретические основы термической обработки стали, включая полиморфизм железа и диаграмму состояния железо-цементит. Проанализированы основные виды термической обработки: отжиг, нормализация, закалка и отпуск, а также методы химико-термической обработки (цементация, азотирование, нитроцементация).

Термическая обработка стали – совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения металлических изделий с целью целенаправленного изменения их структуры и комплекса свойств. Она является ключевым процессом в

машиностроении и металлургии, определяющим эксплуатационную надежность и долговечность деталей. Правильно выбранный режим термообработки позволяет в десятки раз повысить твердость, износостойкость, предел выносливости и ударную вязкость стали, сохраняя пластичность сердцевины изделия. Цель данной работы – систематизация сведений о современных технологических процессах термической обработки стали.

В основе термической обработки лежит способность стали изменять кристаллическую структуру под воздействием температуры. Процесс включает три этапа: нагрев до заданной температуры, выдержку и охлаждение с определенной скоростью. Ключевое понятие – аллотропия (полиморфизм) железа. При нагреве выше 727°C (критическая точка A_{c1}) железо с объемно-центрированной кубической решеткой (ОЦК) переходит в гранецентрированную кубическую (ГЦК), образуя аустенит. Растворимость углерода в аустените достигает 2,14 %, тогда как в феррите – менее 0,02 % [1].

Теоретической основой выбора режимов служит диаграмма состояния железо-цементит (рис. 1). Эвтектоидная точка соответствует 0,8 % С и 727°C . Стали с содержанием углерода менее 0,8 % называют доэвтектоидными, более 0,8 % – заэвтектоидными. Для практического выбора режимов охлаждения используют С-образные диаграммы изотермического и термокинетического распада аустенита, позволяющие определить критическую скорость закалки – минимальную скорость охлаждения, подавляющую образование перлита или бейнита.

Традиционно выделяют четыре основных вида: отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжиг – нагрев до определенной температуры, выдержка и медленное охлаждение (обычно с печью). Цели: снижение твердости, повышение пластичности, снятие напряжений, улучшение обрабатываемости резанием.

- Диффузионный отжиг ($1100-1200^{\circ}\text{C}$, до 100 ч) – для устранения химической неоднородности в слитках.

- Полный отжиг (на $30-50^{\circ}\text{C}$ выше A_{c3}) – для доэвтектоидных сталей, формирует феррито-перлитную структуру.

- Неполный отжиг (сфероидизация) (на $10-30^{\circ}\text{C}$ выше A_{c1}) – для заэвтектоидных сталей, превращает пластинчатый перлит в зернистый.

- Рекристаллизационный отжиг ($650-700^{\circ}\text{C}$) – для устранения наклепа после холодной деформации. [2, 3]

Нагрев на $50-60^{\circ}\text{C}$ выше A_{c3} или A_{cm} , непродолжительная выдержка и охлаждение на спокойном воздухе. Получаемая структура – сорбит или троостит – более дисперсная, чем при отжиге, что дает более высокие прочностные свойства. Применяется для улучшения структуры литых и кованных изделий, подготовки под закалку, а также как окончательная обработка деталей, не требующих высокой твердости. Нормализация экономичнее полного отжига.

Закалка – получение неравновесной структуры с максимальной твердостью. Включает нагрев выше критических точек (A_{c3} для доэвтектоидных, A_{c1} – для заэвтектоидных сталей), выдержку и быстрое охлаждение со скоростью выше критической. Быстрое охлаждение приводит к

бездиффузионному превращению аустенита в мартенсит – пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе. Мартенсит имеет тетрагональную решетку, высокую твердость (до 65 HRC) и хрупкость.

Отпуск – обязательная операция после закалки для снижения напряжений и повышения вязкости. Нагрев до температур ниже A_{c1} .

- Низкий отпуск (150-250 °C) – для инструментальных сталей, сохраняется высокая твердость (58-62 HRC), структура – мартенсит отпуска.
- Средний отпуск (350-500 °C) – для пружин и рессор, структура троостита отпуска, высокий предел упругости.
- Высокий отпуск (500-650 °C) – для конструкционных сталей, структура сорбита отпуска, оптимальное сочетание прочности, пластичности и ударной вязкости. Сочетание закалки с высоким отпуском называют улучшением. [2, 3]

Для деталей, работающих в условиях поверхностного износа при ударных нагрузках, необходимо сочетание твердой поверхности и вязкой сердцевины. Это достигается методами химико-термической обработки – диффузионного насыщения поверхностного слоя.

- Цементация – насыщение углеродом при 900-950 °C. После цементации – закалка и низкий отпуск. Твердость поверхности 58-62 HRC, сердцевина вязкая (35–40 HRC).
- Азотирование – насыщение азотом при 500-600 °C. Не требует последующей закалки, твердость до 1100 HV, высокая износостойкость.
- Цианирование и нитроцементация – одновременное насыщение углеродом и азотом при более низких температурах и меньшей длительности процесса [2, 3].

Современное термическое производство использует камерные, шахтные, проходные, вакуумные печи и печи с контролируемой атмосферой (эндогаз, экзогаз, диссоциированный аммиак, инертные газы), что предотвращает окисление и обезуглероживание. Для поверхностной закалки применяют установки ТВЧ (токи высокой частоты), обеспечивающие нагрев за 10-30 секунд, и газопламенную закалку для крупногабаритных изделий.

Контроль качества включает: измерение твердости (Роквелл, Бринелль, Виккерс), металлографический анализ, контроль прокаливаемости (метод торцевой закалки), неразрушающие методы (магнитный, ультразвуковой, вихретоковый).

Каждый вид термической обработки имеет строго определенное назначение. Отжиг и нормализация служат подготовительными операциями. Закалка с отпуском формируют эксплуатационные характеристики. Химико-термическая обработка позволяет получить высокую поверхностную твердость при вязкой сердцевине. Выбор режима требует учета химического состава стали, формы и размеров изделия, условий эксплуатации. Современное развитие термического производства направлено на автоматизацию, ресурсосбережение, внедрение вакуумных установок и контролируемых атмосфер [3].

Список литературы

1. Башнин Ю.А. Технология термической обработки стали: учебник для вузов / Ю.А. Башнин, Б.К. Ушаков, А.Г. Секей. – М.: Металлургия, 1986. – 424 с.
2. Масленков С.Б. Энциклопедический справочник термиста-технолога: В 3 т. Т. 2 / С.Б. Масленков [и др.]. – М.: Наука и технологии, 2004. – 608 с.
3. Перминов В.П. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие / В.П. Перминов, В.А. Неронов. – Новосибирск: СГГА, 2007. – 128 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОНОБЛОЧНЫМ ТУРБОДЕТАНДЕРНЫМ АГРЕГАТОМ

Р.М. Хуснадинов, А.А. Рыжова

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань

***Аннотация.** В статье обосновывается необходимость разработки автоматизированной системы управления (АСУ) для моноблочного турбодетандерного агрегата (МТДА). Показано, что существующие системы управления морально и технически устарели, не обеспечивают требуемой эффективности, безопасности и адаптации к переменным режимам работы газораспределительных станций (ГРС). Предложены архитектурные принципы АСУ, выделены основные контуры регулирования и ожидаемые эффекты от внедрения: снижение аварийности, увеличение выработки электроэнергии, сокращение операторского труда и повышение ресурса агрегата.*

Моноблочные турбодетандерные агрегаты все шире применяются на газораспределительных станциях и объектах нефтегазового сектора для утилизации перепада давления природного газа с выработкой электроэнергии или механической энергии. Однако, несмотря на очевидные преимущества – энергоэффективность, экологичность, автономность – многие действующие МТДА оснащены устаревшими, дискретными или полуавтоматическими системами управления. Это приводит к потере до 15-20 % потенциальной выработки, повышенной аварийности и высоким эксплуатационным затратам. В связи с этим разработка современной АСУ становится не просто желательным, а критически необходимым шагом.

Агрегат моноблочный турбодетандерный предназначен для отбензинивания попутного нефтяного газа, предварительно подготовленного на установке адсорбционной осушки. В ходе работы была разработана АСУ моноблочного турбодетандерного агрегата. Для этого выбраны следующие компоненты:

- Программируемый логический контроллер (ПЛК) (например, Regul R500 или аналоги), осуществляющий циклическое управление и обработку сигналов.
- Система человеко-машинного интерфейса (HMI/SCADA) для визуализации параметров и мониторинга состояния агрегата.

- Датчики и исполнительные устройства (датчики температуры, давления, расхода, вибрации, датчики положения клапанов и т.д.).
- Система аварийной защиты, реализующая защитные алгоритмы и аварийные остановки.

Основные функции АСУ:

- Регулирование режимов работы: управление частотой вращения ротора, давлением и расходом газа.
- Запуск и останов агрегата: алгоритмы разгона и торможения с учетом динамических характеристик.
- Автоматическая защита: отключение при превышении допустимых значений вибрации, температуры, давления и т.д.
- Сбор и хранение данных: регистрация технологических параметров и события для последующего анализа.

Были разработаны алгоритмы управления и мнемосхемы установки. Средой разработки алгоритмов была выбрана Astra IDE от Regul. Мнемосхемы были реализованы в программе EasyBuilderPro.

Автоматизация управления моноблочным турбодетандерным агрегатом обеспечивает:

- Повышение надежности и безопасности эксплуатации.
- Уменьшение влияния человеческого фактора.
- Возможность оптимизации энергопотребления.
- Быстрый поиск и диагностика неисправностей.

Таким образом, автоматизированная система управления моноблочным турбодетандерным агрегатом является необходимым элементом современных технологических комплексов. Она обеспечивает высокую надежность, безопасность и эффективность работы агрегата, а также позволяет интегрировать его в общую систему управления предприятием.

Список литературы

1. Учебные пособия по автоматизированным системам управления (НУТПУ, ТПУ и др.).
2. Сафонов А.А. Турбодетандерные установки в системах газоснабжения / А.А. Сафонов, В.П. Кузнецов. – М.: Недра, 2019. – 248 с.
3. ГОСТ Р МЭК 61508-2012. Функциональная безопасность электрических, электронных, программируемых электронных систем.
4. Иванов С.Н. Автоматизация энергетических установок на базе PLC Siemens / С.Н. Иванов. – СПб.: Энерготех, 2021. – 190 с.
5. Отчет ООО «Газпром ВНИИГАЗ»: Опыт эксплуатации детандер-генераторных агрегатов, 2022. – 56 с.

ОПЫТ ИНТРОДУКЦИИ ГВИЗОЦИИ АБИССИНСКОЙ В СЕВООБОРОТАХ РФ

И.Н. Рязанова, Е.А. Высоцкая
Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I,
г. Воронеж

Аннотация. В статье рассмотрены результаты исследований интродукции гвизоции абиссинской (*Guizotia abyssinica* Cass.) в агроценозы Российской Федерации. Проведен обзор литературы по возделыванию культуры в различных почвенно-климатических условиях. Представлены данные по урожайности, биологическим особенностям, перспективах использования гвизоции в качестве масличной, кормовой и сидеральной культуры. Отмечено, что культура обладает высокой экологической адаптивностью и может быть успешно интегрирована в севообороты различных регионов РФ.

Современное сельское хозяйство Российской Федерации функционирует в условиях возрастающей климатической нестабильности, что требует пересмотра структуры посевных площадей и расширения набора возделываемых культур. В регионах с неустойчивым увлажнением и высоким риском погодных аномалий особую роль приобретают виды, способные формировать относительно стабильную продуктивность при ограниченных ресурсах влаги и тепла. В этой связи актуальным направлением является оценка интродукции малораспространённых культур, обладающих высоким адаптационным потенциалом и хозяйственной ценностью.

Одной из таких культур является гвизоция абиссинская (*Guizotia abyssinica* (L.F.) Cass.), известная также под названиями нигер, рамтила или абиссинский подсолнечник [1]. В естественных условиях она широко распространена в странах Восточной Африки и Южной Азии, где используется как ценная масличная культура. 1926 г. – завезена Н.И. Вавиловым из Эфиопии, но широкого распространения не получила из-за низкой урожайности. Исследования культуры возобновились в 2005 году в Тамбовской области [5]. В последние годы интерес к гвизоции возник вновь для поиска альтернативных источников растительного масла и кормового белка, а также в связи с задачами импортозамещения и повышения продовольственной безопасности.

Гвизоция абиссинская относится к семейству Астровые и представляет собой однолетнее травянистое растение с хорошо развитой надземной массой и мощной корневой системой [2]. Морфологические особенности культуры включают прямостоячий ветвящийся стебель, многочисленные соцветия-корзинки и мелкие семена тёмной окраски. Высота растений варьирует от 30 см до 2 м в зависимости от условий произрастания, уровня агротехники и обеспеченности влагой [2]. Корневая система проникает на значительную глубину, что обеспечивает эффективное использование влаги из нижних горизонтов почвы и повышает устойчивость растений к засухе.

Семена гвизоции характеризуются высоким содержанием масла, достигающим 40 % и более [1]. Масло отличается благоприятным

жирнокислотным составом: основную долю составляет линолевая кислота, содержание которой может превышать 70 %. Отсутствие эруковой кислоты делает его безопасным для пищевого использования и повышает его ценность как диетического продукта [4]. Помимо масла, семена содержат значительное количество белка и углеводов, что расширяет возможности их использования. Жмых, получаемый после переработки семян, содержит до 30-37 % белка и может эффективно использоваться в кормлении сельскохозяйственных животных [1]. Таким образом, культура обладает хозяйственной ценностью, позволяя получать как пищевую, так и кормовую продукцию.

Одно из важных преимуществ гвизоции это её засухоустойчивость, способность переносить высокие температуры и формировать урожай в условиях недостаточного увлажнения [1]. Культура отличается также устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды и способностью расти на различных типах почв, включая низкоплодородные. Эти свойства делают её перспективной культурой для возделывания в регионах с ограниченными ресурсами влаги и нестабильными климатическими условиями.

Результаты исследований, проведённых в различных регионах Российской Федерации, подтвердили возможность успешной интродукции гвизоции абиссинской. В производственных условиях Среднего Поволжья установлено, что культура проходит полный цикл развития при сумме эффективных температур 1620-2293 °С и продолжительности вегетационного периода 111-125 дней [2]. Это свидетельствует о её пригодности для возделывания в умеренно-континентальном климате. Средняя урожайность семян в данных условиях составляет 1,64 т/га при масличности 39,6-41,6 % [2]. Анализ структуры урожая показывает, что растения формируют до 163 корзинок, масса 1000 семян составляет 3,12-3,62 г, а продуктивность одного растения достигает 16,49 г [2].

В южных регионах Российской Федерации, включая Крым, продуктивность гвизоции в значительной степени определяется сроками сева и нормами высева [4]. Наиболее благоприятные условия для формирования урожая создаются при ранних сроках посева, что позволяет растениям эффективно использовать весеннюю влагу и избегать воздействия высоких температур в критические фазы развития. При этом оптимальная густота стояния растений обеспечивает формирование более крупных семян и повышает масличность. Средняя урожайность в этих условиях составляет 2,0-2,4 ц/га, а содержание жира варьирует в пределах 34,8-38,0 % [4]. Отмечено, что загущение посевов и поздние сроки сева приводят к снижению урожайности и ухудшению качества продукции. Это подчёркивает важность точного соблюдения агротехнических требований при возделывании культуры.

В северо-западных регионах, в частности в Калининградской области, гвизоция рассматривается не только как масличная, но и как кормовая культура [1]. Она способна формировать значительную зелёную массу, достигающую 450 ц/га, что делает её пригодной для использования в качестве силосной культуры. Кроме того, растение может использоваться как сидерат, способствуя улучшению структуры почвы и повышению её плодородия. Урожайность семян

в этих условиях составляет около 3,5 ц/га [1], что свидетельствует о возможности получения как кормовой, так и масличной продукции. Использование гвизоции в качестве сидеральной культуры способствует накоплению органического вещества в почве и улучшению её агрофизических свойств.

Включение гвизоции абиссинской в севообороты обусловлено рядом её агробиологических преимуществ. Культура эффективно использует влагу, обладает развитой корневой системой, способствующей улучшению структуры почвы, и способна подавлять сорную растительность [1]. Эти свойства делают её ценным элементом устойчивых агроэкосистем. Кроме того, использование гвизоции в качестве промежуточной или сидеральной культуры позволяет повысить биологическую активность почвы и улучшить её агрофизические свойства. Включение культуры в севооборот способствует также снижению фитосанитарной нагрузки и разрыву циклов развития вредителей и болезней.

Агротехнические приёмы возделывания гвизоции включают выбор оптимальных сроков сева, норм высева и способов размещения растений. Рекомендуются ранний посев, обеспечивающий более полное использование влаги и тепла, а также умеренная густота стояния растений, позволяющая избежать конкуренции за ресурсы [1; 4]. Применение широкорядного способа посева способствует лучшему развитию растений и повышению их продуктивности. Важным элементом технологии является также подбор предшественников и соблюдение севооборота, что позволяет снизить фитосанитарную нагрузку и повысить эффективность использования питательных веществ. Дополнительно следует учитывать особенности обработки почвы, систему удобрений и меры защиты растений.

Исследования подтверждают перспективность расширения посевных площадей под гвизоцией и необходимость дальнейшего совершенствования технологий её возделывания [4]. Отмечается, что культура может успешно интегрироваться в существующие системы земледелия и способствовать повышению их устойчивости. В перспективе возможно создание специализированных сортов, адаптированных к различным природно-климатическим зонам Российской Федерации. Семена гвизоции, полученные в различных агроклиматических условиях от засушливых и высокотемпературных регионов юга (Волгоградская и Астраханская области) до зон умеренно-континентального климата (Пензенская и Тамбовская области), характеризуются стабильно высокой масличностью, варьирующей в пределах 33,3-39,2% [3].

Анализ жирнокислотного состава показал, что в масле преобладает линолевая кислота (до 80,0 %), при этом эруковая кислота отсутствует. Это свидетельствует о высокой биологической ценности масла и позволяет рассматривать гвизоцию как перспективную масличную культуру многоцелевого использования, способную расширить сырьевую базу и обеспечить диверсификацию масличного конвейера [3].

На основании вышесказанного, гвизоция абиссинская представляет собой перспективную культуру, обладающую комплексом ценных хозяйственных признаков. Её внедрение в сельскохозяйственное производство Российской Федерации позволяет расширить ассортимент масличных культур,

повысить устойчивость агроэкосистем, улучшить кормовую базу животноводства и более эффективно использовать земельные ресурсы. Высокая экологическая адаптивность культуры позволяют рекомендовать её для возделывания в различных природно-климатических зонах страны. Таким образом, перспективным является изучение биоресурсного потенциала гвизоции при интродукции в различных агроэкологических условиях, включая производственные в Центрально-Черноземном регионе, а также изучение показателей мёдо- и нектаропродуктивности, возможной ее сидерации и кормовой ценности.

Список литературы

1. Бардаш В.В. Гвизоция абиссинская (*Guizotia abyssinica* (L.F.) Cass.) / В.В. Бардаш. – малоизученная кормовая культура. – 2023.
2. Прахова Т.Я. Интродукция *Guizotia abyssinica* в Средневолжском регионе / Т.Я. Прахова, В.А. Прахов // Таврический вестник аграрной науки. – 2018.
3. Прахова Т.Я., Прахов В.А., Буянкин В.И. жирнокислотный состав маслосемян гвизоции абиссинской сорта меда. Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2019;(133):65-70.
4. Турина Е.Л. Урожайность семян и качество масла *Guizotia abyssinica* в условиях центральной степи Крыма / Е.Л. Турина, С.Г. Ефименко // Таврический вестник аграрной науки. – 2021.
5. Kurenkova, E.M. Introduction of *Guizotia abyssinica* (L.F.) / E.M. Kurenkova, A.N. Tolkacheva, S.A. Zapivalov // Cass. in agroecological conditions of the Central region of the Russian Federation. BIO Web of Conferences, 2024. – 82. 10.1051/bioconf/20248202017.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОРМОВОГО МОНОКАЛЬЦИЙФОСФАТА

Л.А. Есаулова, А.А. Васильев, Н.И. Максимов

Московская государственная академия ветеринарной медицины
и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина, кафедра кормления
и кормопроизводства,
г. Москва

Аннотация. В статье рассматриваются технологические аспекты производства кормового монокальцийфосфата из апатито-нефелиновой руды Хибинского месторождения. Описаны ключевые факторы, влияющие на качество и усвояемость продукта, такие как растворимость и форма гидратации. Подчёркиваются преимущества препарата от компании «РОСАГРО», способствующего приросту живой массы животных на 5-12 %, укреплению костной ткани и нормализации минерального обмена при высокой экономической эффективности.

Развитие высокоинтенсивного животноводства в России на сегодняшний день напрямую зависит от внедрения современных технологий и использования высококачественных кормовых добавок, таких как монокальцийфосфат, для обеспечения высокой продуктивности, здоровья животных и экологической безопасности производства. Фосфор – один из ключевых макроэлементов в кормлении животных, выполняет больше известных биологических функций чем любой другой минеральный элемент, играющий важную роль в их физиологических процессах и здоровье. Он участвует в построении тканей, обмене веществ, энергетическом обеспечении и поддержании ключевых функций организма [1].

На сегодняшний день существует несколько источников фосфора для животных:

- органические – корма растительного и животного происхождения;
- неорганические – кормовые фосфаты, которые на сегодняшний день на рынке представлены несколькими продуктами: монокальцийфосфат, дикальцийфосфат, трикальцийфосфат, дефторированный фосфат.

Минеральный состав растений очень переменчивый и зависит от многих факторов, таких как: тип почв, генетических особенностей растений, ботанического состава растений, агротехники возделывания, количество минеральных элементов, и погодных условий. Весь фосфор в растениях связан фитиновой кислотой и поэтому животными с однокамерным желудком практически не усваивается. Из кормов животного происхождения фосфор усваивается лучше, однако количество фосфора в кормах не удовлетворяет его потребность для высокопродуктивных пород скота.

Неорганические источники фосфора отличаются: качеством, контролем качества при производстве и усвояемостью.

Качество подразумевается в постоянном содержании действующих веществ, в известной степени усвояемости и биологической усвояемости, высокой частоте, низком уровне содержания нежелательных элементов, хороших физических и эксплуатационных свойствах.

Сырьём для производства монокальцийфосфата служит апатито-нефелиновая руда. Процесс начинается с получения из неё апатитового концентрата, из которого далее вырабатывают фосфорную кислоту. На заключительном этапе фосфорная кислота реагирует с карбонатом кальция (*мелом или известью*) в процессе нейтрализации, что приводит к образованию монокальцийфосфата. Чем лучше сырьё, тем лучше происходят химические реакции и тем выше качество окончательной продукции [2].

Сырьём для производства монокальцийфосфата служит апатито-нефелиновая руда Хибинского месторождения. Открытое в 20-30-х годах XX века, оно уникально: здесь сосредоточено 90 % российских и 30 % мировых запасов апатита. Месторождение характеризуется высочайшей чистотой и богатым минералогическим составом.

На всех этапах производства контролируются следующие показатели: массовая доля фосфора, кальция, воды, уровень pH и содержание остаточных количеств тяжёлых металлов.

Показатели усвояемости используются производителями кормов для использования точного количества фосфора животными без лишних потерь, без вреда для продуктивности и благополучия животного и окружающей среды. Чем выше усвояемость, тем меньше высвобождается в окружающую среду транзит фосфора. Продукты монофосфаты нужно сравнивать с собой не по общему количеству фосфора, а по усвояемости фосфора [3].

Лучший кормовой фосфат в линейке кормовых фосфатов на рынке Российской Федерации – Монокальцийфосфат от компании РОСАГРО.

Согласно литературным данным, применение этого препарата обеспечивает следующие преимущества: он способствует лучшему усвоению питательных веществ, что приводит к приросту живой массы на 5-12 % и улучшает качественные показатели животноводческой продукции (молока, мяса, яиц). Препарат нормализует минеральный обмен, укрепляет костную ткань и повышает перевариваемость кормов. Кроме того, он положительно влияет на функции нервной, иммунной и репродуктивной систем, а также обладает консервирующими свойствами и ингибирует развитие плесени, что делает его экономически эффективным решением.

Список литературы

1. Есаулова Л.А. Некоторые кормовые факторы, влияющие на повышение экономической эффективности в молочном животноводстве / Л.А. Есаулова, Н.А. Кудинова // *АгроЗооТехника*. – 2024. – Т. 7, № 1. – DOI 10.15838/alt.2024.7.1.1. – EDN ZJCTRK.

2. Аристов А.В. Система кормления, повышающая биоресурсный потенциал дойных коров на животноводческих комплексах ООО «ЭкоНиваАгро» в условиях воронежской области / А.В. Аристов, Л.А. Есаулова, В.В. Ионов // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. – 2019. – № 4(44). – С. 5-13. – DOI 10.36508/RSATU.2019.85.38.001. – EDN QFSRJY.

3. Основы нормированного кормления и методика составления рационов для сельскохозяйственных животных. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2020. – 102 с. – EDN WMYJIP.

Содержание

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Неширова Н.В. Эколого-экономическая оценка обращения с отходами демонтажа при реконструкции набережной г. Хабаровска	3
Евченко Д.Ю., Корякина Е.А. Невидимый след ИИ: сколько в CO ₂ стоит запрос?	7

ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Исаева Ю.Д. Современные алгоритмы обнаружения аномалий при экологическом мониторинге	9
Волков А.В. Этапы прогнозирования многолетних уровней продуктивности фито- и агроценозов	13
Маслова А.А., Браун В.А. Комплексный показатель загрязнения водных объектов	21
Бахтиярова Р.С., Хизяпова Э.Д. Эволюция нормативно-методической базы и концептуальные подходы к формированию климатических проектов в нефтедобывающей отрасли России	25

МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Исяндавлетов А.И., Гильфанов К.Х. Сравнительное анализ сенсорных систем бионических протезов кисти	31
--	----

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Путилова Т.А. Междисциплинарные связи в современных образовательных технологиях	33
Заживихина Е.И., Маркова С.А., Кузнецова Е.Е. Магний в сельском хозяйстве	35

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Максютов Б.А., Макаров В.Г. Адаптивный регулятор коэффициента мощности по отклонениям параметров электроэнергии	38
Чванов Н.И. Применение прогнозирующего управления (Model Predictive Control) в системах водоснабжения	41
Зиганшина Д.Е., Федотов А.И. Технологии Smart Grid в области электромобилей: V2G и управление энергопотреблением для питания аварийной нагрузки общественных объектов	43
Загидуллин К.М. Приоритетные направления развития науки и технологий	45
Филимонов И.В., Бахтин Д.А. Вектор развития автоматизации биогазовых установок	48

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Панарин В.М., Маслова А.А., Карницкий В.Ю., Новикова Е.О., Абросимов С.В., Сало В.В. Обеспечение безопасности операций с вакуумными выключателями 6-10 кВ на основе применения интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы	53
Панарин В.М., Маслова А.А., Карницкий В.Ю., Новикова Е.О., Абросимов С.В., Сало В.В. Архитектура, алгоритмы и методы интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы для объектов электросетевого хозяйства 6-110 кВ промышленного предприятия	60
Панарин В.М., Маслова А.А., Карницкий В.Ю., Новикова Е.О., Абросимов С.В., Сало В.В. Модели обмена данными и человеко-машинный интерфейс интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы для объектов электросетевого хозяйства 6-110 кВ	64

Коцелап Е.С., Чубич В.М. Методы компенсации дисбаланса данных при многозадачной классификации электрокардиограмм с использованием свёрточных нейронных сетей	68
Ермаков А.А. Стохастическая мультиагентная модель адаптации агентов в среде с самовоспроизводящимися ресурсами	72
Татаринцев Г.К. Классификация ошибок больших языковых моделей в задачах поддержки принятия решений	76
Ветошникова А.Е. Моделирование процессов мини-ателье в среде AnyLogic	78
Галаган Т.А., Марков Н.Е. Модификация образовательного веб-сервиса «ActiveTemplate» с применением методов UX/UI-дизайна	82
Харламов Н.С. Методика регулирования риска кибератак на основе биномиального распределения и объективных оценок уязвимостей	84
Хохрякова А.С., Осокина Н.В. Роль государственных бюджетных учреждений в системе современной кадастровой оценки	88
Жолдъбаева Е.Б. Python-модель обслуживания клиентов автосервиса для сокращения времени ремонта	90
Васильева М.Ю., Чан Тхао Нгуен Исследование работы контуров управления установкой аминовой очистки на цифровой платформе РТСИМ.Карьера	95
Кутузов Д.С., Спиридонова Е.В. Восстановление клипированного аудиосигнала с применением нейронных сетей	100
Савин А.О., Панарин В.М. Результаты применения информационно-измерительной системы для оценки загрязнения водных ресурсов	104
Коваленко А.Н. Совершенствование математической модели прогнозирования аварийных ситуаций информационно-измерительной и управляющей системы на гидротехнических сооружениях (хвостохранилищах, шламоохранилищах)	107
Хохрякова А.С., Осокина Н.В. Отображение сервитутов в официальных сервисах национальной системы пространственных данных	116

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Максютов Р.Р. Автоматизированная система управления технологическим процессом грануляции карбамида	118
Сиразетдинов Д.И. Интеграция SCADA-систем с корпоративными информационными системами предприятия	121
Шубин Д.Э., Егорова Т.Л., Энтин В.Я. Ограничения контактных и бесконтактных методов измерения натяжения нити в высокоскоростных текстильных процессах	124
Шубин Д.Э., Егорова Т.Л. Бессенсорный предиктивный мониторинг электроприводов как метод снижения скрытых энергопотерь в текстильной промышленности	127
Шурганов А.В. АСУТП регенерации фурфурола	130
Фахриев Н.Р. Особенности сопряжения и настройки программируемого логического контроллера ОВЕН ПЛК210 с модулями ввода-вывода	132
Верин А.А. Необходимость автоматической системы пожаротушения для объекта по производству катализатора н-Бутиллития	134
Ахманов И.И., Нургалиев Р.К. Особенности сопряжения и настройки программируемого логического контроллера REGUL R500 с модулями ввода-вывода	136
Лошманов В.О., Нургалиев Р.К. Особенности сопряжения и настройки программируемого логического контроллера БАЗИС-100 с модулями ввода-вывода	138
Валеев Л.Р., Рыжова А.А. Разработка автоматизированной установки освещения поверхностного стока	140
Гавриленко Г.А., Курочкина Е.В., Протопопов А.В. Извлечение елового масла при кислотной обработке	142

Протопопов А.В., Батвинова А.А., Супоня С.А. Получение сукцинатов целлюлозы в кислотной среде	145
Дроздова А.Н., Протопопов А.В. Определения тяжелых металлов в пищевой упаковке	147
Курочкина Е.В., Гавриленко Г.А., Протопопов А.В. Изучение реологии растворов цитратов крахмала	150
Супоня С.А., Батвинова А.А., Протопопов А.В. получение стеаратов сахарозы в кислотной среде	153
Султанов Э.Р. Марки алюминиевых сплавов и современные технологии литья плоских слитков: Российский опыт и перспективы модернизации	155
Ветелкин Д.А. АСУТП процесса стабилизации нефти на промысле	158
Гималтдинова А.Э., Нургалиев Р.К. Оптимизация системы управления температурным режимом битумной установки с реактором змеевикового типа	160
Набиуллин А.М. АСУТП каталитического риформинга	164
Саетов М.Р. АСУТП гидроочистки дистиллята топлива	166
Исламгареев И.Р., Рыжова А.А. Автоматизация процесса производства смазок на сухих мылах	168
Зайнутдинов Д.Ф. АСУТП абсорбционно-газофракционирующей установки	170
Мухамедьянов Д.Р. АСУТП установки каталитического крекинга с прямоточным реактором	172
Барлев К.С. АСУТП установки этаноламиновой очистки углеводородных газов	174
Даулетов А.А. АСУТП вторичной перегонки бензинового дистиллята	176
Николаев С.В. АСУТП деструктивной перегонки мазутов	179
Шайдуллин Р.И., Рыжова А.А. Система управления процессом двухступенчатой вакуумной перегонки мазута	181
Кустов С.А., Рыжова А.А. Автоматизация установки полунепрерывного производства мыльных смазок	184
Рыжова А.А., Илларионов С.А. Модернизация системы управления технологическим процессом очистки нефтяных остатков	186
Мударисов И.Р. Автоматизация процесса непрерывного синтеза термопластичного полимера на базе промышленного контроллера REGUL R500	189
Качалова А.А., Маслова А.А. Технологические процессы с использованием методов с нанесением материалов	191
Гусак А.А., Маслова А.А. Рациональное проектирование технологических процессов в современном машиностроении: принципы, методы и практическое значение	193
Латыпова Р.Р., Нургалиев Р.К. Автоматизированная система управления учебным лабораторным стендом на базе контроллерного оборудования REGUL R500	196
Ерёмчев И.А., Маслова А.А. Возможность использования минералов железа, полученных в результате нейтрализации геохимических аномалий, в металлургии	202
Кудрявцев М.А., Маслова А.А. Технологические процессы термической обработки стали	205
Хуснадинов Р.М., Рыжова А.А. Автоматизированная система управления моноблочным турбодетандерным агрегатом	208
Рязанова И.Н., Высоцкая Е.А. Опыт интродукции гвизоции абиссинской в севооборотах РФ	210
Есаулова Л.А., Васильев А.А., Максимов Н.И. Технологические аспекты производства и контроль качества кормового монокальцийфосфата	213

Научное издание

**ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ
НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

**XXXVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

Сборник докладов

Авторские редактирование
и художественное оформление

Принято 08.07.2026. Подписано в печать 14.07.2026

Формат бумаги 70×100 ¹/₁₆. Бумага офсетная

Усл. печ. л. 17,7

Тираж 200 экз. (1-й з-д 1–75). Заказ 089

Отпечатано в Издательстве ТулГУ
300012, г. Тула, просп. Ленина, 95