

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Новомосковский институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»

Первичная организация Российского химического общества  
им. Д.И. Менделеева  
Совет молодых ученых НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева

**XXVIII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ  
УЧЕНЫХ, АСПИРАНТОВ, СТУДЕНТОВ  
ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ  
Технические науки**



Новомосковск,  
2026

УДК 378:082.2(043.2)

ББК 74.58

Д 259

**Д 259 XXVIII научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов, студентов. Тезисы докладов. Технические науки / ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковский институт (филиал). Новомосковск, 2026. – 92 с.**

Работа конференции проводилась в шести секциях, на которых обсуждались вопросы химии и технологии неорганических веществ, органической химии и полимерных композиционных материалов, инженерной механики и материаловедения, кибернетики технологических процессов и технических систем, гуманитарных наук экологии, экономики и управления, энергетики.

Сборник содержит доклады и сообщения студентов, аспирантов и молодых ученых.

Текст репродуцирован с оригиналов авторов.

УДК 378:082.2(043.2)

ББК 74.58

*Редакционная коллегия:*

директор В.Л. Первухин - *председатель*

доцент, кандидат экономических наук А.В. Овчаров – *зам. председателя*

доцент, кандидат технических наук С.И. Сидельников – *отв. секретарь*

профессор, доктор технических наук В.М. Логачева

доцент, кандидат химических наук Е.И. Костылева

доцент, кандидат экономических наук Ю.В. Кулакова

доцент, кандидат технических наук Ю.В. Гербер

доцент, кандидат философских наук Э.Е. Гордова

© ФГБОУ ВО «Российского химико-технологического  
университет им. Д.И. Менделеева»,  
Новомосковский институт (филиал), 2026

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

<i>Архипов И.А., Курило Н.А.</i> Перспективы использования малых модульных реакторов в энергетике.....	8
<i>Архипов И.А., Курило Н.А.</i> Эволюция методов моделирования тепловых потерь в системах централизованного теплоснабжения.....	9
<i>Писарев Г.К., Курило Н.А.</i> Автоматизация и диагностика теплоэнергетического оборудования.....	10
<i>Рыданов Г.А., Курило Н.А.</i> Цифровая трансформация городского хозяйства: опыт внедрения системы «умный город» в Новомосковске....	12
<i>Родина П.И., Зайцев Н.А., Чермошенцев Е.А.</i> Современные методы обработки подпиточной и сетевой воды тепловых сетей.....	13
<i>Конон А.Б., Зайцев Н.А., Чермошенцев Е.А.</i> Использование вторичных энергетических ресурсов предприятий.....	14
<i>Анчухин М.И., Чермошенцев Е.А., Зайцев Н.А.</i> Комплексный метод безреагентной обработки воды для систем отопления.....	15
<i>Шаршаков М.Г., Чермошенцев Е.А., Макрушин В.В.</i> Применение природного шунгита при очистке сточной воды котельной.....	16
<i>Короткова К.С., Макрушин В.В., Чермошенцев Е.А.</i> Влияние водно-химических режимов на скорость коррозии барабанных котлов КТЦ АО «Щёкиноазот».....	17
<i>Пенькова Д.С., Макрушин В.В.</i> Влияние водно-химических режимов на образование отложений барабанных котлов КТЦ АО «Щёкиноазот».....	18
<i>Примак Е.В., Золотарева В.Е. Тимофеева И.В.</i> Об особенностях конструкций энергоэффективного вентиляционного оборудования.....	19
<i>Острецова Д.Н., Тимофеева И.В., Золотарева В.Е.</i> Энергосбережение - важный фактор эффективности теплоснабжения.....	21
<i>Цапаева Е.С., Тимофеева И.В., Золотарева В.Е.</i> Об использовании современных отопительных систем зданий.....	22
<i>Скляр Н.А. Канарейкин С.С., Золотарева В.Е., Тимофеева И.В.</i> Возобновляемые источники энергии в России: перспективы и проблемы развития.....	23
<i>Острецова Д.Н., Цапаева Е.С., Золотарева В.Е., Колесникова Т.П.</i> «Энерджинет». Развитие с момента создания до наших дней.....	24
<i>Острецова Д.Н., Цапаева Е.С., Золотарева В.Е.</i> Цифровые двойники предприятий в энергетике: возможности и вызовы.....	25
<i>Цапаева Е.С., Острецова Д.Н., Золотарева В.Е.</i> Виртуальная реальность в промышленности: применение, преимущества и перспективы...	27

<i>Примак Е.В., Золотарева В.Е. Тимофеева И.В.</i> VR-технологии в подготовке специалистов.....	28
<i>Е.М., Майорова Н.Д.</i> Возобновляемые источники энергии и разработка региональных энергетических стратегий.....	30
<i>Барабанов С.А., Руденко Е.О., Майорова Н.Д.</i> Энергетика России: вызовы, решения и перспективы развития.....	31
<i>Дасаев Б.Р., Майорова Н.Д.</i> Причины наращивания энергоёмкости населения.....	32
<i>Лобанов С.С., Катасонов М.С., Исаев А.С.</i> Повышение энергоэффективности Тульской области: анализ и стратегия развития.....	33
<i>Фетисов Ю.С., Чернова Т.Ю.</i> Ветроэнергетика - от наземных турбин к летающим генераторам.....	34
<i>Антонов Р.В., Ошурков М.Г.</i> Плата за электроэнергию по первой-третьей ценовым категориям.....	35
<i>Барабанов С.А., Руденко Е.О., Майорова Н.Д.</i> Планируемые изменения в электроэнергетической системе Тульской области с 2026 по 2031 годы.....	36
<i>Барабанов С.А., Руденко Е.О.</i> Научный руководитель – <i>Исаев А.С.</i> Информационное обеспечение расчета переходных процессов.....	38
<i>Белов А.В., Ошурков М.Г., Чиркова Т.Ю.</i> Плата за электроэнергию по четвертой-шестой ценовым категориям.....	39
<i>Дасаев Б.Р., Чебану Е.М.</i> Научный руководитель – <i>Исаев А.С.</i> Перспективная оценка графика электрической нагрузки.....	40
<i>Дмитриев С.С., Салтанов Б.В.</i> Научный руководитель – <i>Исаев А.С.</i> Согласование стандартов расчета токов короткого замыкания.....	41
<i>Канунников А.В.</i> Научный руководитель – <i>Исаев А.С.</i> Особенности учета явнополюсности синхронных машин.....	42
<i>Канунников А.В., Салтанов Б.В.</i> Научный руководитель – <i>Исаев А.С.</i> Моделирование переходных процессов цепей переменного тока.....	43
<i>Катасонов М.С., Лагуткин О.Е., Чиркова Т.Ю.</i> Защита энергообъектов: новые вызовы и современные решения.....	44
<i>Коваленко А.И., Ползиков М.Н.</i> Работа электродвигателей в условиях несимметрии напряжения.....	46
<i>Коваленко А.И., Ползиков М.Н.</i> Повышение качества электроэнергии путем симметрирования напряжения.....	47
<i>Козулев А.А., Ползиков М.Н.</i> Расчет дополнительных потерь мощности при несимметрии напряжения.....	48
<i>Колесников Е.Б., Дасаев Б.Р.</i> Гармонический удвоитель частоты.....	49
<i>Колесников Е.Б., Руденко Е.О.</i> Делитель частоты синусоидального сигнала.....	50

<i>Красногрудский Д.А., Ошурков М.Г.</i> Перспективная оценка составляющих платы за электроэнергию.....	51
<i>Лагуткин О.Е., Чиркова Т.Ю., Лобанов С.С.</i> Современные средства релейной защиты.....	52
<i>Руденко О.Е. Научный руководитель – Исаев А.С.</i> Разработка виртуального лабораторного стенда для изучения электротехники.....	54
<i>Сурдаев А.В., Ползиков М.Н.</i> Расчет снижения срока службы электрооборудования при несинусоидальности и несимметрии напряжения...	55
<i>Харченко А.Д., Ошурков М.Г.</i> Моделирование почасового графика нагрузки уличного освещения.....	56
<i>Чебану Е.М. Научный руководитель – Исаев А.С.</i> Методы решения дифференциальных уравнений в Матлаб – технические приложения...	57

**СЕКЦИЯ КИБЕРНЕТИКИ, АВТОМАТИЗАЦИИ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ,  
МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

<i>Кожухов К.Р., Лопатин А.Г., Брыков Б.А.</i> О применении нечетко-логических систем в системах управления с предиктором Смита.....	58
<i>Ивлев А.Е., Лопатин А.Г., Брыков Б.А.</i> Использование RS-триггеров в химической промышленности.....	59
<i>Дробот Д.А.</i> VR-двойники оборудования и объектов химпредприятий для подготовки персонала.....	60
<i>Дробот Д.А.</i> Компьютерное зрение для диагностирования объектов химических предприятий.....	61
<i>Дробот Д.А.</i> Ультразвуковые волны для оценки состояния объектов в химической промышленности.....	62
<i>Дробот Д.А.</i> Беспилотный мониторинг состояния объектов в химической промышленности.....	63
<i>Елатомцев Н.Н.</i> Датчики давления: классификация и принцип действия.....	64
<i>Елатомцев Н.Н.</i> Датчики температуры: классификация и принцип действия.....	65
<i>Смирнов С.А.</i> Предиктивное управление на основе моделей .....	66
<i>Косарев М.А.</i> Автоматизация ядерных установок на промышленных предприятиях.....	67
<i>Толстиков Д. Д., Сидельников С.И.</i> Модель системы логического управления отделением метилирования производства анальгина.....	68
<i>Лопатина В.А.</i> Особенности процесса радикальной полимеризации стирола.....	69

<i>Лопатина В.А.</i> Сравнительный анализ систем управления химическими реакторами периодического действия синтеза полимеров.....	70
<i>Азатян Д.А., Гринюк О.Н., Силина И.В.</i> Оптимизация архитектуры инклюзивного мобильного приложения для работы в условиях нестабильного сетевого соединения.....	71
<i>Бицура М.С., Силин А.В., Шабанова Н.Ю.</i> Проектирование автоматизированной информационной системы для организации и подведения итогов соревнований по плаванию.....	72
<i>Гладышев И.В., Поддубный Н.В., Ефремова О.А.</i> Алгоритмическое обеспечение достоверности и своевременности уведомлений о статусе государственных заявлений в агрегаторах.....	73
<i>Иванников А.В., Силин А.В., Шабанова Н.Ю.</i> Динамическая адаптация интерфейса мобильного приложения для снижения когнитивной нагрузки при усталости.....	74
<i>Купцова Е.В., Силин А.В., Медведев С.В.</i> Проектирование и верификация протокола безопасного делегированного доступа к персональным данным в социальных приложениях.....	75
<i>Маряев В.В.</i> ER-диаграммы как инструмент концептуального проектирования баз данных.....	76
<i>Маренков И.В.</i> Семантическая верстка как основной инструмент структурирования контента.....	77
<i>Мещеряков А.Ю., Силин А.В., Шабанова Н.Ю.</i> Сравнительный анализ производительности PWA и нативных приложений для пользователей с ограничениями моторики.....	78
<i>Павленко М.А., Бизикин Т.С., Гринюк О.Н.</i> Автоматизированная валидация доступности интерфейсов на соответствие стандарту WCAG 2.1 AA в CI/CD.....	79
<i>Поддубный Н.В., Гринюк О.Н., Силина И.В.</i> Алгоритм приоритизации уведомлений для предотвращения цифровой тревожности у студентов с ОВЗ.....	80
<i>Солдатова Д.В., Кравцова А.Д., Вересов Е.А.</i> Проектирование и оптимизация реляционной схемы базы данных для автоматизации учета в сети предприятий общепита.....	81
<i>Филаткин Д.В., Фламель П.А., Медведев С.В.</i> Инженерно-метрический анализ производительности инклюзивных мобильных интерфейсов на устройствах начального уровня.....	82
<i>Усков В.А., Солдатова Д.В., Ефремова О.А.</i> Классификация пользовательских интенций в диалоговых системах социальной сферы с использованием малоресурсных доменных данных.....	83
<i>Асташкин Д.М., Соболев А.В.</i> Исследование влияния настроек полосовых фильтров на качество работы ЭСАР.....	84

<i>Логунова Т.С., Соболев А.В.</i> Методы расчета настроек регуляторов в ЭСАР.....	85
<i>Бездомников А.В., Голованова П.Д.</i> Классификация методов оптимизации.....	86
<i>Бездомников А.В., Голованова П.Д.</i> Метод недоопределенных моделей.....	86
<i>Платонова О.Ю., Канарейкин С.С.</i> Методы интегрирования трансцендентных (неалгебраических) функций.....	87
<i>Платонова О.Ю., Никандров С.В.</i> Применение метода параболических трапеций.....	88
<i>Козлова Е.С., Куницына А.А.</i> Эволюция «органов чувств» промышленности: как современные датчики и IoT меняют облик КИПиА.....	90
<i>Снопина В.А., Куницына А.А.</i> Обеспечение надежности в энергетике с помощью цифровых двойников.....	91

## СЕКЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

УДК 621.039.577.2

*Архинов И.А., Курило Н.А.*

(Новомосковский институт (филиал) РХТУ им. Д.И. Менделеева)

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛЫХ МОДУЛЬНЫХ РЕАКТОРОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Строительство малых модульных реакторов (ММР), также атомных станций малой мощности (АСММ) – оптимальное решение для надежного и экологически безопасного обеспечения энергией потребителей из отдаленных от центральных энергосетей территорий, а также для замены старых электростанций с повышенным объемом выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу.

Преимуществами ММР является их низкая стоимость и модульная конструкция: реакторы могут быть собраны на заводах и доставлены как единое целое на место их установки, что упрощает строительство и сокращает сроки ввода в эксплуатацию. Гибкость их модульной конструкции допускает поэтапное наращивание мощности: сначала устанавливается один модуль, а по мере роста энергопотребления добавляются новые, без необходимости строить гигантскую станцию с огромными первоначальными капитальными затратами. ММР могут размещаться в труднодоступных и удалённых районах, где строительство крупных АЭС невозможно из-за геологических и инфраструктурных ограничений, или экономически неоправданно.

ММР имеют повышенный уровень безопасности по сравнению с классическими атомными реакторами благодаря пассивным системам безопасности, меньшей мощности и более низкому внутреннему давлению. Конструкции таких реакторов предполагают более длительный интервал между перезагрузками топлива, что уменьшает необходимость в техническом обслуживании. В некоторых ММР применяются системы охлаждения, использующие термоконвекцию, вследствие этого реактор способен самостоятельно отводить тепло даже при полном отключении внешнего электроснабжения или отказе насосов. Благодаря этому реакторы могут функционировать длительное время без вмешательства оператора и без необходимости постоянного внешнего электропитания.

Большим плюсом ММР является их многофункциональность и высокая маневренность. Реакторы могут использоваться не только для генерации электроэнергии, но и для теплоснабжения, опреснения воды и получения водорода, что является важным для развития экологически

чистого транспорта. ММР могут производить энергию под необходимую нагрузку электросети от 30 до 100% от установленной мощности.

Малые модульные реакторы представляют собой новое направление в атомной энергетике, позволяющее создавать компактные, безопасные и экологически чистые источники энергии для промышленных объектов, удаленных территорий и даже частных домов.

#### *Литература*

1. Росатом развитие и экономика ядерных технологий: Малые модульные реакторы, проблемы и перспективы [https://rosatom.ru/upload/docs/Small\\_Modular\\_Reactors.pdf](https://rosatom.ru/upload/docs/Small_Modular_Reactors.pdf)
2. Киндра В.О. Максимов И.А., Комаров И.А., Осипов С.К., Злышко О.В. Атомные станции малой мощности: технический уровень и перспективы коммерциализации (обзор).// Теплоэнергетика. -2024.-№4.-с.5-20.

УДК 697.34; 519.876.5

*Архипов И.А., Курило Н.А.*

(Новомосковский институт (филиал) РХТУ им. Д.И. Менделеева)

### **ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Моделирование тепловых потерь в системах централизованного теплоснабжения - эффективный инструмент инженерного анализа, позволяющий оценивать уровень потерь для любых участков сети без проведения дорогостоящих натурных испытаний.

Методы моделирования: а) аналитический метод (основан на решении уравнений стационарной и нестационарной теплопередачи); б) численное моделирование (позволяет учитывать сложную геометрию, неоднородные материалы и изменяющиеся граничные условия); в) эмпирические модели — строятся на основе данных натурных измерений и статистических зависимостей; г) гибридные подходы — сочетают аналитические уравнения с коррекцией по экспериментальным данным.

Программные средства для моделирования: ZuluThermo - специализированный пакет для теплогидравлических расчётов тепловых сетей; ANSYS Fluent — для детального CFD моделирования теплопереноса; MATLAB/Simulink — для разработки пользовательских моделей и алгоритмов управления.

Развитие методов моделирования тепловых потерь идёт в русле общей цифровизации энергетики и открывает новые возможности для повышения энергоэффективности систем теплоснабжения.

Ключевым направлением становится создание цифровых двойников тепловых сетей — динамических виртуальных копий инфраструктуры, интегрированных с реальными данными от датчиков температуры, давления и расхода теплоносителя. Такие модели позволяют в режиме реального времени отслеживать состояние сети, прогнозировать тепловые потери и оперативно корректировать режимы работы.

Ещё одно перспективное направление — оптимизация режимов работы сетей на основе прогнозных моделей. Системы смогут автоматически подбирать оптимальные параметры (температуру теплоносителя, расход) для минимизации потерь при сохранении требуемого уровня комфорта потребителей.

В долгосрочной перспективе развитие методов моделирования приведёт к формированию интеллектуальных систем теплоснабжения с элементами самодиагностики и самооптимизации.

Таким образом, эволюция методов моделирования трансформирует подход к управлению тепловыми сетями — от периодических расчётов и плановых ремонтов к непрерывному мониторингу и проактивному управлению на основе прогнозной аналитики. Это позволит существенно повысить энергоэффективность, надёжность и экономическую эффективность систем теплоснабжения.

#### *Литература*

1. [https://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=3386](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3386)
2. <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-i-optimizatsiya-raboty-teplovyyh-setey-s-uchyotom-teplovyyh-poter/viewer>

УДК 621.1-5

*Писарев Г.К., Курило Н.А.*

(Новомосковский институт (филиал) РХТУ им. Д.И. Менделеева)

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Теплоэнергетика в России сегодня сталкивается с серьезными проблемами: оборудование и сети сильно изношены, а аварии случаются слишком часто. В таких условиях автоматизация и современная диагностика становятся не просто полезными, а жизненно необходимыми, чтобы обеспечивать людей теплом надежно, безопасно и экономично.

Автоматизация — это когда работой оборудования (котлов, насосов, целых котельных) управляют не люди вручную, а специальные компьютерные системы. Основу таких систем составляют датчики, которые постоянно измеряют температуру, давление, расход теплоносителя, и контроллеры, которые обрабатывают эти данные и отдают команды.

Все это объединяется в единую систему диспетчеризации, часто называемую SCADA. В России популярны отечественные SCADA-системы, например, MasterSCADA.

Диагностика нужна, чтобы оценить состояние оборудования, найти скрытые дефекты и спрогнозировать, когда что-то может сломаться. Для этого используют методы неразрушающего контроля — то есть проверку без остановки оборудования и его разборки. Один из самых наглядных и эффективных методов — тепловизионная диагностика (или ИК-диагностика). Кроме тепловидения, используют ультразвук для поиска трещин в металле, вихретоковый контроль и другие методы.

Сейчас автоматизация и диагностика стали цифровыми. На оборудование массово ставят умные датчики, которые через интернет (технология IoT — промышленный интернет вещей) постоянно передают данные о вибрации, температуре и других параметрах в центральную систему. Эти огромные потоки данных анализируют с помощью искусственного интеллекта. Алгоритмы машинного обучения учатся на истории работы оборудования и начинают прогнозировать возможные поломки. Это называется предиктивной (предсказывающей) аналитикой. Такой подход меняет старую схему "работал-сломался-починили" на новую: система заранее предупреждает, что, например, через две недели может выйти из строя подшипник насоса, и его можно спокойно заменить во время планового обслуживания.

Еще одна передовая технология — цифровые двойники. Это виртуальные точные копии реального оборудования или целой теплосети. На таком двойнике можно безопасно моделировать различные режимы работы, проводить "что, если" анализы и оптимально планировать ремонты. Внедрение таких систем, как отечественный комплекс "Цифровое теплоснабжение", уже показывает реальные результаты: сокращение аварий, снижение потерь тепла и экономия средств.

Государство поддерживает этот тренд, утверждая стратегии цифровой трансформации всей энергетической отрасли. Будущее теплоэнергетики — за умными, связанными в единую сеть системами, которые могут сами следить за своим здоровьем, прогнозировать проблемы и работать с максимальной эффективностью.

#### *Литература*

1. Обзор российских SCADA-систем 2026: MasterSCADA 4D, SimpleScada и аналоги. - <https://a-automation.ru/obzor-rossijskih-scada-sistem-2026-kak-vybrat-nadezhnuju-platformu-dlja-dispetcherizacii/>
2. IoT: датчики на оборудовании, сбор данных и предиктивная аналитика в 2026. - <https://forum.investsteel.ru/topic/1789/iiot-datchiki-na-oborudovanii-sbor-dannyh-i-prediktivnaya-analitika-v-2026>

*Рыданов Г.А., Курило Н.А.*

(Новомосковский институт (филиал) РХТУ им. Д.И. Менделеева)

## **ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА: ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ГОРОД» В НОВОМОСКОВСКЕ**

Новомосковск является одним из пилотных городов Тульской области, где активно внедряются технологии «Умного города». Проекты направлены на цифровизацию городского хозяйства, повышение безопасности и комфорта горожан.

1. *Умный транспорт и безопасность дорожного движения:* Это самое масштабное направление. Новомосковск стал первой площадкой в области, где начали внедрять «умные» системы на дорогах, а затем опыт распространили на Тулу и другие районы.

- «Умные светофоры»: На 12 перекрестках города установлены комплексы, которые анализируют дорожную ситуацию в реальном времени и регулируют движение. Результат: трафик на этих участках ускорился на 20%.

- Интеллектуальная транспортная система (ИТС): Новомосковск включен в Тульскую городскую агломерацию. Модернизация дорог позволила увеличить среднюю скорость движения на 50%.

- Безопасные переходы: Один из нерегулируемых переходов (на ул. Куйбышева у Детского парка) превратили в «умный». При приближении человека к «зебре» датчики включают подсветку и за 150 метров выводят на табло предупреждение для водителей «Осторожно, пешеход!».

2. *Цифровая инфраструктура и «Безопасный город»:*

- Цифровой двойник: В администрации существует цифровая модель города («двойник»), объединяющая более 30 подсистем — от видеонаблюдения до схем теплосетей. Это позволяет в реальном времени видеть происходящее и управлять службами.

- АПК «Безопасный город»: Развернут аппаратно-программный комплекс, куда стекается информация с камер (включая частные) и датчиков. Это помогает МВД в розыске машин и предотвращении преступлений.

3. *Энергоэффективность и ЖКХ:*

- Интеллектуальное освещение: На 8 улицах установлено 228 энергоэффективных светильников с автоматическими шкафами управления.

- «Умные» домофоны: 70 домофонов нового поколения, через них можно оповещать жителей о ЧС или общегородских событиях.

- Цифровизация сетей: проводится оцифровка инженерных сетей, что упрощает их обслуживание и ремонт.

Общая концепция «Умного города» включает множество компонентов: от умного транспорта до цифровых двойников и телемедицины. Новомосковск Тульской области представляет собой успешный пример внедрения интегрированного уровня этой концепции с фокусом на транспорт, безопасность и ЖКХ.

#### *Литература*

1. CNews. «Техносерв» оснастил дороги Новомосковска элементами «Умного города». — 2020. - [https://market.cnews.ru/news/line/2020-02-27\\_tehnoserv\\_osnastil\\_dorogi](https://market.cnews.ru/news/line/2020-02-27_tehnoserv_osnastil_dorogi)
2. Фонд развития промышленности Тульской области. Алексей Дюмин: ««Умный город» позволяет добиться качественных изменений инфраструктуры с помощью новых технологий». — 2020. - <https://frp71.ru/Press?newsId=4700>
3. Первый Тульский / Тульская служба новостей. Тульскую область признали «Умным регионом года» — 2025. — <https://1tulatv.ru/novosti/242905-tulskuyu-oblast-priznali-umnym-regionom-goroda.html>

УДК 628.1

*Родина П.И., Зайцев Н.А., Чермошенцев Е.А.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева)

### **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПОДПИТОЧНОЙ И СЕТЕВОЙ ВОДЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

На отопительных модульных котельных с водогрейными котлами температура подогрева сетевой воды, как правило, не превышает 130 °С. При этом для подпитки тепловых сетей экономически выгодно использовать необработанную воду из хозяйственно-питьевого водопровода. В этом случае для предотвращения образования накипи и коррозии на поверхностях теплообмена сетевых подогревателей вместо традиционного умягчения применяются специальные реагенты: а) ингибиторы накипеобразования и коррозии (комплексоны), образующие растворимые комплексные соединения кальция, магния, железа (реагентная комплексонатная водоподготовка); б) антيناкипины-диспергаторы, стабилизирующие рост кристаллов накипи на начальной стадии образования твёрдой фазы. В результате диспергирования слой накипи на теплообменной поверхности остаётся минимальным.

Разработаны эффективные ингибиторы накипеобразования и коррозии – это комплексоны и комплексонаты на основе фосфоновых кис-

лот и их солей: оксиэтилидендифосфоновая кислота и её соли; цинковый комплекс оксиэтилидендифосфоновой кислоты; цинковый комплекс нитрилотриметиленфосфоновой кислоты; натриевая соль аминометиленфосфоновой кислоты - ИОМС; СЦ-115; ПАФ-13А; водный раствор полиаминметилфосфоновой кислоты; Аминат А. Широко применяются ингибиторы указанного состава серии Оптион и Эктоскейл. Хорошо себя зарекомендовал в качестве ингибитора коррозии и накипеобразования реагент Силифос. В состав этого реагента входят полифосфаты и силикаты. Полифосфаты защищают поверхность теплообмена от отложений. Фосфаты и силикаты, сорбируясь на поверхности металла, препятствуют развитию коррозионных процессов. Хорошие результаты по ингибированию коррозии даёт и применение полифосфата натрия ПФН (гексаметафосфат натрия). ПФН - не токсичен и биологически разлагаем.

Для стабилизации недеаэрированной подпиточной очень жёсткой воды разработан ингибитор накипеобразования и коррозии «Композиция ККФ». Рекомендуется к применению и щелочной аминосодержащий реагент хеламин. Реагент предотвращает образование солевых отложений продуктов коррозии, шламообразование, электрохимическую коррозию в присутствии растворённых газов, корректирует рН.

УДК 628.1

*Конон А.Б., Зайцев Н.А., Чермошенцев Е.А.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева)

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Вторичными энергетическими (тепловыми) ресурсами (ВЭР) называются выделяющиеся в производственных процессах тепловые отходы в виде теплоты с газом, паром или горячей водой. Чаще это могут быть отходящие горячие технологические газы или нагретая вода системы оборотного охлаждения. Можно выделить основные типы вторичных энергоресурсов: а) горячие газы от химических реакторов и печей; б) горячие продукты производственного процесса (теплота исходного сырья, технологического продукта, отходов); в) первичный пар, отработавший в энергетических установках, вторичный пар, получаемый в технологических процессах; г) горячая вода, выходящая из охлаждающих устройств, производственные конденсаты; д) производственные тепловыделения от работающих агрегатов и устройств. Первые два типа энергоресурсов могут иметь температуру от 300 до 1000°С.

Остальные три типа являются низкопотенциальными, характеризующиеся низкими параметрами теплоносителя (температура от 35 до 130°C).

Наибольший интерес для предприятий представляет использование вторичных энергоресурсов в основных технологических процессах, которые являются источниками вторичного тепла. Это требует расширения внутренней регенерации в процессе для непрерывного использования сбросного тепла, что повышает КПД всего технологического процесса. Однако, важным моментом является использование вторичных низкопотенциальных энергоресурсов с паром и горячей водой как для теплоснабжения силовых и технологических процессов, так и для отопительно-вентиляционных процессов и установок. С учётом, что эти потоки ВЭР отличаются большими объёмами, их использование позволяет значительно улучшить общий тепловой баланс предприятия с экономией потребляемой теплоты и расхода ископаемого топлива. Необходимо отметить и значимость использования в цеховых помещениях внутренних тепловыделений от работающих станков и аппаратов, от горячих поверхностей теплоиспользующего оборудования. Эти тепловые потоки снижают расходы теплоты на отопление.

На ТЭС основными ВЭР являются уходящие газы котлов и теплота конденсации отработавшего пара турбин. Эти тепловые потоки можно использовать для подогрева сетевой воды и воды ГВС.

УДК 621.187.12

*Анчухин М.И., Чермошенцев Е.А., Зайцев Н.А.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

### **КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД БЕЗРЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ**

В системах теплоснабжения используется вода, нагреваемая в котлах котельных или сетевых подогревателях ЦТП. Артезианская вода, идущая на подпитку тепловой сети, содержит в своем составе минеральные и органические соединения, выпадающие в осадок при нагреве, вследствие дегазации воды и изменения индекса стабильности. Природная вода проходит водоподготовку реагентными или безреагентными методами для предотвращения образования слоя кальциевых и магниевых отложения на поверхности металла. В связи с общей тенденцией ухудшения экологического состояния водных объектов, повышаются требования надзорных органов к показателям качества по сбросам сточных вод предприятий. Применение технологии обработки подпиточной воды на ионообменных установках приводит к образованию сбросной воды с большим количеством вредных химических соединений. Поэтому все

большее внимание предприятий направлено на применение в системах теплоснабжения для обработки воды от отложений безреагентных методов водоподготовки (обработка воды магнитным, электрическим, ультразвуковыми полями). В технологии противонакипной обработки отсутствуют дорогостоящие капитальные сооружения, оборудование, специализированные химические лаборатории. Физические способы предочистки обладают рядом преимуществ: имеется уже накопленный опыт применения современных электронных приборов, оборудования и высокоэффективных композитных материалов, генерирующих ультразвуковые и магнитные поля для широкого интервала температур и давлений, что исключает загрязнение природной водной среды и повышает ее экологическую безопасность. Анализ исследований показал, что применение только одного из физических методов в блоках предочистки на станциях водоподготовки не приводит к стабильному поддержанию чистоты поверхности нагрева сетевых подогревателей и эффективность составляет в среднем около 56%. В отопительный период эксплуатации, при использовании емкости - отстойника шлама и продувки наблюдается накопление и последующее зарастание отложениями трубного пучка, это приводит к необходимости ежегодной механической очистки подогревателей. Комплексный подход при экспериментах по смешанному применению ультразвуковых, электрических, магнитных полей в различных их комбинациях показал, что эффективность противонакипной обработки улучшается при совместной работе высокоэнергетических физических полей, т.е. совместная обработка воды ультразвуковым и электрическими полями обеспечивает наибольшую защиту поверхности нагрева.

УДК 621.187

*Шаршаков М.Г., Чермошенцев Е.А, Макрушин В.В..*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОГО ШУНГИТА ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНОЙ ВОДЫ КОТЕЛЬНОЙ**

В многих регионах, где нет магистрального природного газа, в качестве топлива используется мазут разных марок. В процессе эксплуатации теплоэнергетического оборудования возникают проблемы по уменьшению сброса в окружающую среду различных загрязнителей, особенно нефтепродуктов.

Рассмотрены условия эксплуатации и состояние оборудования блока очистки конденсата котельной, работающей на мазуте. Это связано с превышением норм СанПиНа по сбросам сточных вод предприятия в

систему водоотведения. Штатная схема очистки состояла из нескольких последовательно включенных секций. Механическая очистка – гидродиклон. Секция объемного разделения – отстойник. Секция тонкослойного разделения – пакет поперечных пластин. Секция фильтрации – емкость, размещенная в сливном колодце, заполненная отработанным катионитом – сульфоуголь. Установка проработала более 12 лет, с соблюдением сроков технического обслуживания и очистки, с показателями по сбросам нефтепродуктов – около 2 мг/л. В связи с ухудшением качества поставляемого на котельную мазута – используется высокопарафинистый, высокосернистый мазут марки М100, изменились расчетные показатели работы установки, что привело к снижению качества очистки и превышению показателя ПДК, более 20 мг/л по нефтепродуктам в сточной воде. Это потребовало модернизации установки с целью повышения эффективности работы.

По результатам исследований было предложено - провести полную модернизацию секции фильтрации с применением отработанного катионита, что и являлось причиной возникшей проблемы. Наибольший эффект при тонкой очистке замазученных вод предприятий дает применение физико – химических методов – сорбция на материалах, обладающих повышенной адгезией к эмульгированным частицам нефтепродуктов. В настоящее время актуальным решением по защите окружающей среды является применение дешевых отечественных сорбентов вместо дорогостоящих активированных углей и синтетических сорбентов. Одним из вариантов технического решения является использование на последнем этапе очистки фильтра, с фильтрующей загрузкой и в качестве сорбента – природного высокоуглеродистого материала – шунгита. Применение шунгита обусловлено высокими сорбционными характеристиками, которые позволяют повысить эффективность технологического процесса работы блока очистки конденсата котельной.

УДК 621

*Короткова К.С., Макрушин В.В., Чермошенцев Е.А.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева)

## **ВЛИЯНИЕ ВОДНО-ХИМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НА СКОРОСТЬ КОРРОЗИИ БАРАБАННЫХ КОТЛОВ КТЦ АО «ЩЁКИНОАЗОТ»**

Барабанные котлы КТЦ АО «Щёкиноазот» работают в условиях повышенных температур и давления. От правильного подбора и контроля параметров водно-химического режима (ВХР) напрямую зависит надёжность, экономичность и срок службы оборудования. ВХР включа-

ет в себя контроль качества питательной, котловой и продувочной воды, а также поддержание определённых значений pH, содержания кислорода, углекислого газа и растворённых солей. Нарушение этих параметров приводит к ускоренной коррозии внутренних поверхностей барабанных котлов.

- Кислородная коррозия. Даже незначительное содержание растворённого кислорода в питательной воде вызывает точечную (питтинговую) коррозию, особенно в зонах застойных явлений и на сварных соединениях.

- Кислотная или щелочная среда. Отклонение pH от оптимальных значений (обычно 9,0–9,5 для барабанных котлов) приводит к разрушению защитной плёнки на металле и усилению коррозионных процессов.

- Накипеобразование и отложения. Повышенная жёсткость или содержание железа в воде способствует образованию отложений, под которыми развивается подшламовая коррозия.

Для минимизации коррозионных процессов на «Щёкиноазот» реализуются следующие мероприятия: постоянный мониторинг и коррекция pH воды; деаэрация питательной воды для удаления кислорода; использование ингибиторов коррозии и антискалантов; регулярная химическая очистка и промывка котлов; автоматизация контроля ВХР с помощью современных анализаторов.

Стабильный и грамотно организованный ВХР — залог надёжной и долговечной работы котлов. Системный подход к контролю качества воды и своевременная корректировка параметров позволяют существенно снизить скорость коррозии, продлить межремонтный период и повысить экономическую эффективность производства.

УДК 621

*Пенькова Д.С., Макрушин В.В.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева)

### **ВЛИЯНИЕ ВОДНО-ХИМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НА ОБРАЗОВАНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ БАРАБАНЫХ КОТЛОВ КТЦ АО «ЩЁКИНОАЗОТ»**

Барабанные котлы КТЦ АО «Щёкиноазот» эксплуатируются в условиях высоких температур и давления, что предъявляет особые требования к качеству воды и организации водно-химического режима (ВХР). Образование отложений на внутренних поверхностях котлов — одна из ключевых проблем, влияющих на эффективность, надёжность и срок службы оборудования.

Отложения в барабанных котлах формируются в результате осаждения из воды солей жёсткости, соединений железа, меди, кремниевой кислоты и других примесей. Основные факторы, способствующие их появлению:

- Высокая жёсткость питательной воды. При нагреве соли кальция и магния разлагаются с образованием твёрдой накипи, обладающей низкой теплопроводностью.

- Повышенное содержание железа и меди. Продукты коррозии трубопроводов и оборудования переносятся с потоком воды и оседают на стенках барабана и труб.

- Недостаточная очистка воды. Отсутствие или неэффективная работа систем водоподготовки приводит к попаданию в котёл взвешенных веществ и органических соединений.

- Нарушение режима продувки. Недостаточная или нерегулярная продувка барабана способствует накоплению шлама и солей.

Грамотно организованный ВХР позволяет существенно снизить скорость образования отложений. Ключевые меры: контроль и коррекция качества питательной воды, использование систем умягчения, обессоливания и фильтрации, поддержание оптимального рН, регулярная и автоматизированная продувка, применение химических реагентов.

Системное изучение и оптимизация ВХР в котлах - необходимое условие для предотвращения образования отложений. Это обеспечивает стабильную работу оборудования, снижает риск аварийных остановов и способствует повышению экономической эффективности производства.

УДК 697.9

*Примак Е.В., Тимофеева И.В., Золотарева В.Е.*

(Новомосковский институт (филиал) РХТУ им. Д.И. Менделеева)

### **ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КОНСТРУКЦИЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Существуют различные виды вентиляционных установок: приточные, вытяжные, приточно-вытяжные, блочные, монолитные, с горизонтальным или вертикальным подключением воздухопроводов.

Вентиляционная установка состоит из нескольких важных элементов: фильтра, вентилятора, калорифера, при повышении энергоэффективности системы вентиляции в установку ставится рекуператор.

Рекуперация – это процесс обмена тепла между вытяжными и приточными воздушными потоками в системе вентиляции.

В процессе рекуперации теплота вытяжного воздуха аккумулируется и далее передается входящему потоку воздуха, процесс происходит циклически. В рекуператоре теплота вытяжного воздуха нагревает наружный через теплообменник.

В системах вентиляции используются следующие типы рекуператоров: пластинчатый; роторный; рекуператоры с промежуточным теплоносителем; камерный; фреоновый.

Роторные рекуператоры являются наиболее эффективным средством передачи тепла. Ни одно другое устройство не может рекуперировать столько тепла или холода, и ни один другой теплообменник не может справиться с такими большими объемами воздуха. Экономия энергии может достигать до 85%.

Роторные рекуператоры имеют колесную конструкцию, поэтому их также называют тепловыми колесами или просто роторами. Ротор, изготовленный из алюминиевой фольги, имеют бесчисленное множество маленьких каналов, по которым проходит вытяжной воздух и передает свое тепло приточному. Алюминий идеально подходит для этого процесса из-за его высокой теплопроводности.

Ротор вращается между двумя потоками воздуха: потоком приточного воздуха, который доставляет наружный воздух внутрь здания, и вытяжным воздухом, который выносит «использованный» воздух из помещения наружу. Воздух снаружи проходит через одну половину, а вытяжной воздух — через другую половину. При этом большая часть тепла отработанного воздуха передается аккумулирующей воздушной массе. Эта нагретая половина колеса продолжает вращаться до тех пор, пока не окажется на пути более холодного приточного воздуха, которому оно передает свое тепло. Следовательно, приточный воздух поступает в здание со значительно более высокой температурой.

#### *Литература*

1. Караджи, В. Г., Московко, Ю. Г. Вентиляционное оборудование. Технические рекомендации для проектировщиков и монтажников / В. Г. Караджи, Ю. Г. Московко. — М.: АВОК-ПРЕСС, 2010. — 432 с.
2. Каталог VEZA AEROSMART «Установка вентиляционная приточно-вытяжная с роторным рекуператором и встроенной системой автоматического управления».

*Острецова Д.Н., Тимофеева И.В., Золотарева В.Е.*  
(Новомосковский институт (филиал) РХТУ им. Д.И. Менделеева)

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ - ВАЖНЫЙ ФАКТОР ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

В настоящее время, в связи с возрастающим энергопотреблением и изменением климата, вопросы энергоэффективности приобретают все большее значение. При повышении энергоэффективности особое внимание уделяется системам отопления и вентиляции. С помощью этих систем можно обеспечить комфортные условия в зданиях, а также поддерживать оптимальный микроклимат. Однако они являются одними из главных потребителей энергии.

За последнее десятилетие в связи с резким ростом цен на энергоресурсы и возрастающим вниманием к экологическим проблемам, вопрос энергетической эффективности стал одним из наиболее актуальных для инженеров, архитекторов и экологов. За счет разработки и внедрения энергоэффективных решений можно значительно снизить энергозатраты, уменьшить количество выбросов вредных веществ.

Современные технологии и инновационные подходы в этой области включают использование систем рекуперации тепла, которые позволяют возвращать часть тепловой энергии обратно в систему, модернизация систем отопления, установкой лучистых панелей позволяющих уменьшить расход энергоресурсов на обогрев помещений.

Также, энергоэффективность в системах отопления и вентиляции имеет ряд социальных и экономических последствий. Снижение затрат на отопление и вентиляцию позволяет использовать сэкономленные средства на другие цели, например для улучшения инфраструктуры или повышения качества жизни населения. Наиболее значимыми экологическими выгодами являются улучшение качества воздуха и снижение негативного воздействия на окружающую среду, что особенно актуально для городов с высокой плотностью застройки и интенсивным индустриальным развитием.

Следовательно, совершенствование и модернизация систем вентиляции и теплоснабжения являются важнейшими шагами для обеспечения устойчивого развития и энергоснабжения в современном мире. С помощью комплексного подхода к решению этих задач, включающего в себя применение новейших технологий и грамотное проектирование можно значительно повысить уровень энергоэффективности зданий и обеспечить их комфортную среду для проживания и работы, при этом сохранив ресурсы для будущих поколений.

### *Литература*

1. Варфоломеев Ю. М., Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети: Учебник. М.: ИНРФА-М, 2006 – 480 с.
2. Караджи, В. Г., Московко, Ю. Г. Вентиляционное оборудование. Технические рекомендации для проектировщиков и монтажников / В. Г. Караджи, Ю. Г. Московко. — М. : АВОК-ПРЕСС, 2010. — 432 с.

УДК 697.27

*Ценаева Е.С., Тимофеева И.В., Золотарева В.Е.*

(Новомосковский институт (филиал) РХТУ им. Д.И. Менделеева)

## **ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗДАНИЙ**

Современные системы отопления являются ключевым элементом в обеспечении комфортных условий проживания и работы в зданиях. Они не только создают оптимальную температуру в помещении, но и влияют на энергоэффективность, эксплуатационные расходы и экологический след зданий.

На данный момент используются конвективные и лучистые системы отопления.

Лучистое отопление представляет собой современную технологию, которая использует инфракрасное излучение для нагрева поверхностей и предметов в помещении. Этот метод отопления обеспечивает равномерное и комфортное распределение тепла.

При использовании лучистого отопления для нагрева используются невидимые электромагнитные волны инфракрасного диапазона. В отличие от других систем отопления, оно не способствует нагреванию воздуха, а лишь передает энергию находящимся поблизости предметам, которые в свою очередь моментально ее поглощают. При нагреве они излучают тепло на другие предметы в комнате, тем самым согревая их. Панели устанавливаются под потолком, излучая электромагнитные волны, которые проходят через воздух и поглощаются полом, в результате чего нагревается пол и объекты, на которые попали инфракрасные лучи, а затем нагревается воздух.

При сравнении эффективности отопления ориентируются на тепловой комфорт человека и на показатели систем.

Тепловой комфорт – это состояние, при котором человек не ощущает ни тепла, ни холода.

При проектировании лучистого отопления нужно учитывать различные типы панелей: коротковолновые панели излучают волны в диапазоне от 0,74 мкм до 1,5 мкм, оборудование может нагревать объекты до

очень больших температур, но излучатель может разогреваться до 900°C, и это требует большого энергопотребления; средневолновые панели излучают инфракрасные волны длиной до 5,6 мкм, приборы могут нагревать различные объекты на значительном расстоянии, при этом излучатель разогревается до 600°C; длинноволновые устройства обычно часто используются в быту, они способны быстро нагреть небольшие помещения, но для обогрева больших площадей не подходят. Излучатели излучают волны длиной до 100 мкм, а сами разогреваются до 300°C.

#### *Литература*

1. Варфоломеев Ю. М., Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети: Учебник. М.: ИНРФА-М, 2006 – 480 с.
2. Теплопанель. Технический каталог «Водяные потолочные панели инфракрасного отопления».

УДК 620.92

*Скляров Н.А. Канарейкин С.С., Золотарева В.Е., Тимофеева И.В..*

НИ РХТУ имени Д.И. Менделеева

### **ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В РОССИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ**

В мире наблюдается устойчивый переход к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ), что связано с экологическими требованиями и снижением стоимости технологий [1]. В России развитие ВИЭ имеет свои особенности: при наличии значительных запасов традиционного топлива страна располагает высоким потенциалом солнечной и ветровой энергетики [2].

Наиболее перспективными регионами являются юг России и Дальний Восток. Южные регионы характеризуются высоким уровнем солнечной радиации, что делает их удобными для размещения солнечных электростанций [2]. Ветровая энергетика активно развивается в прибрежных зонах, а также на Дальнем Востоке, где имеются устойчивые ветровые потоки и потребность в локальной генерации энергии [3]. Использование ВИЭ в удалённых районах позволяет снизить затраты на доставку топлива и повысить энергетическую независимость [3].

Несмотря на потенциал, развитие ВИЭ сопровождается рядом проблем. Ключевыми являются сложные климатические условия, включая низкие температуры и обледенение оборудования, а также нестабильность выработки энергии, обусловленная зависимостью от погодных факторов [4]. Дополнительными ограничениями выступают недоста-

точное финансирование, высокая стоимость начальных инвестиций и зависимость от импортных технологий [2].

Таким образом, ВИЭ обладают значительными перспективами в России, особенно в южных регионах и на Дальнем Востоке. Для их масштабного внедрения необходимо развитие инфраструктуры, систем накопления энергии и расширение государственной поддержки отрасли.

#### *Литература*

1. Материалы МГЭИК.
2. Фазлиахметов А.А. Развитие ВИЭ в России.
3. Петрова А.М. Возобновляемая энергетика Дальнего Востока.
4. Аналитические отчёты по энергетике России.

УДК 620.91:004

*Острецова Д.Н., Цепева Е.С., Золотарева В.Е., Колесникова Т.П.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

### **«ЭНЕРДЖИНЕТ». РАЗВИТИЕ С МОМЕНТА СОЗДАНИЯ ДО НАШИХ ДНЕЙ**

«Энерджинет» (EnergyNet) — это рабочая группа Национальной технологической инициативы (НТИ), созданная в России для модернизации электроэнергетики и создания систем интеллектуальной энергетики. С момента своего создания в 2016 году, эта инициатива прошла путь от теоретических концепций цифровизации до реализации пилотных проектов и экспорта технологий.

Ключевые этапы эволюции Энерджинета традиционно делятся на три стратегических периода:

- 2016 г.–2020 г.: формирование базы. Запуск первых пилотных проектов (например, проект «Цифровой РЭС» в Калининградской области) и создание нормативной базы для внедрения цифровых технологий в энергетику.

- 2021 г.–2025 г.: адаптивная инфраструктура. Период активной актуализации «дорожной карты» (в 2020–2021 годах) с упором на интеллектуальные распределенные системы и новые бизнес-модели.

- 2026 г. и далее: глобальная экспансия. Выход российских технологических решений на международные рынки и масштабное внедрение систем самоорганизующихся сетей.

За годы работы Энерджинет значительно расширил область применения своих технологий:

- Цифровые сети (Цифровой РЭС): перенос фокуса в начале пути с простого мониторинга до автоматизации аварийных режимов и интеллектуального управления всей районной сетью в современных проектах.
- Управление спросом (Demand Response): превращение технологии из экспериментальной идеи в работающий механизм, позволяющий потребителям зарабатывать на снижении потребления в часы пик.
- Изолированные территории: разработка комплексных решений для Арктики и Дальнего Востока, снижающих себестоимость энергии на 20% за счет интеграции ВИЭ и систем накопления энергии в добавление к, а то и вместо дизельной генерации.
- Беспилотная диагностика: внедрение системы автоматического мониторинга ЛЭП с помощью дронов, что позволило перейти от плановых ремонтов к обслуживанию «по состоянию».

Таким образом, Энерджинет за десятилетие своего существования эволюционировал из мечты об умных сетях в работающую экосистему цифровых сервисов, постепенно меняющую роль потребителя с пассивного «плательщика по счетчику» на активного участника рынка. Создана образовательная экосистема *Energynet.Lab*, объединяющая вузы (например, КГЭУ) и технологические компании для подготовки инженеров нового поколения.

УДК 004.942

*Острецова Д.Н., Ценаева Е.С., Золотарева В.Е.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И.Менделеева)

## **ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ПРЕДПРИЯТИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ: ВОМОЖНОСТИ И ВЫЗОВЫ**

Цифровой двойник – виртуальная копия физического объекта или системы, что постоянно обновляется в реальном времени. Эта связь с настоящим миром осуществляется благодаря интернет-датчикам и передовым аналитическим системам, что обеспечивает непрерывный поток данных.

Использование цифровых двойников в энергетике обусловлено рядом стратегических задач: надежность и безопасность, оптимизация технического обслуживания, прогнозирование и управление [1]. Примеры внедрения цифровых двойников на предприятиях: управление газотурбинным парком Siemens с помощью цифровых двойников позволило повысить производительность и сократить эксплуатационные риски; интеграция цифровых двойников в системы Smart Grid для подстан-

ций и магистральных сетей обеспечивает их более эффективное функционирование.

Для эффективного создания ЦД используются следующие ключевые технологии и инструменты: современные платформы моделирования, искусственный интеллект [2].

Таблица 1 - SWOT-анализ цифровых двойников предприятий в энергетике

Сильные стороны 1. Понимание принципа работы 2. Тестирование без рисков	Слабые стороны 1. Высокие затраты
Возможности 1. Ожидается значительный рост рынка до 2029 года	Угрозы 1. Кадровый дефицит 2. Кибербезопасность

Ключевые вызовы для цифровых двойников: стандартизация решений, информационная безопасность, инвестиции в инфраструктуру и их развитие.

Цифровые двойники — это мощнейший инструмент будущего, который позволяет реализовывать и пробовать эффективные новые идеи энергетическим предприятиям. Цифровая трансформация энергетики начинается сейчас - это не будущее, а настоящее [3].

#### *Литература*

1. Мешалкин В.П. Введение в инжиниринг энергоресурсосберегающих химико-технологических систем. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2020. 212 с.
2. Мешалкин В.П. Ресурсоэнергоэффективные методы энергообеспечения и минимизации отходов нефтеперерабатывающих производств. Основы теории и наилучшие практические результаты. - М. ; Генуя : Химия, 2010, - 393 с.
3. Мешалкин В.П. Логистика и электронная экономика в условиях перехода к устойчивому развитию. - М.: АНО «Изд-во физ.-мат. лит.», 2004, - 408 с.

## **ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ПРИМЕНЕНИЕ, ПРЕИМУЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ**

В последние годы иммерсивные технологии нашли широкое применение в промышленности [1].

VR – виртуальная реальность направлена на создание у человека ощущения полного погружения в мир, «нарисованный» с помощью цифровых технологий.

AR – дополненная реальность позволяет совместить цифровые объекты, которые без движения помещаются в реальный окружающий человека мир (таблицы, указатели).

MR – смешанная реальность является следующим этапом развития AR. Здесь человек может видеть, как цифровые объекты могут перемещаться и взаимодействовать с реальным миром.

Эти технологии могут быть реализованы с помощью специальных высокотехнологичных «гаджетов»: VR-шлемы; планшеты; смартфоны.

Иммерсивные технологии в промышленности позволяют создавать цифровые модели и симуляторы, которые позволяют инженерному и рабочему персоналу взаимодействовать с технологическим оборудованием и процессами в трехмерном пространстве. Это включает в себя обучение сотрудников, проектирование изделий, а также оптимизацию производственных процессов [1].

Использование VR-технологий в промышленности позволяет получить следующие преимущества [1, 2]:

- безопасное обучение персонала, связанное с выработкой у персонала необходимых производственных навыков без рискованного контакта с опасным и дорогостоящим оборудованием;
- сокращение производственных затрат из-за замены создания реальных моделей на виртуальные на начальных этапах проектирования;
- оптимизация процессов обслуживания, получаемая за счет возможности принимать быстрые виртуальные решения по выявлению опасности неполадок в оборудовании, реализующем сложные производственные процессы, повышая скорость работы;
- визуализация и проектирование с использованием таких технологий позволяет детально рассмотреть будущий объект, провести его вирту-

альную сборку/разборку и протестировать эргономику до начала реального производства [2].

К недостаткам иммерсивных технологий в промышленности следует отнести: высокую стоимость внедрения из-за дороговизны специализированного оборудования и контента; физический дискомфорт, вызванный длительным нахождением в шлемах и работой с планшетами (усталость глаз и головокружение у некоторых людей).

В целом, несмотря на технические и финансовые трудности, использование VR-технологий в промышленности считается крайне эффективным инструментом, быстро окупающимся за счет снижения производственного травматизма и оптимизации рабочих процессов.

#### *Литература*

1. Экономическая эффективность внедрения виртуальной реальности в машиностроительные предприятия. – Доступ:

<https://vrconcept.net/blog/tpost/0uh1vni341-ekonomicheskaya-effektivnost-vnedreniya>

2. Иммерсивные технологии в высшем образовании /Д. Давыдова, Г.Р. Гильванов, Я.В. Кукушкина, И.Ю. Романова//Общетехнические задачи и пути их решения, 2023.1. С. 120-132. Доступ:

<https://atjournal.ru/temp/9ba51bc8e55544b70a9f5edb550e7f7a.pdf>

УДК 004.946

*Примак Е.В., Золотарева В.Е. Тимофеева И.В.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

### **VR-ТЕХНОЛОГИИ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ**

В последние годы иммерсивные технологии (VR-технологии) широко находят свое применение в высшем, среднем профессиональном и дополнительном образовании [1,2]. Их использование успешно преобразует учебный процесс, вызывая неизменный интерес у обучающихся и обеспечивая высокую вовлеченность (до 100%) в обучение. VR-технологии способствуют безопасной отработке сложных навыков и наглядной визуализации абстрактных концепций. Эти технологии применяются в медицине для симуляции хирургических операций, инженерного проектирования, лабораторных работ и исторических реконструкций, ускоряя запоминание материала [1,2].

Основные направления использования VR в учебных заведениях, обеспечивающих подготовку специалистов [1,2]:

- виртуальные симуляторы и тренажеры позволяют студентам отрабатывать опасные или дорогие операции (например, управление реактором, хирургия, работа с механизмами) без рисков;

- визуализация сложных процессов облегчает понимание анатомии, молекулярной химии, физики, технологии через погружение внутрь объектов;

- виртуальные лаборатории способствуют проведению экспериментов, требующих специализированного, в т.ч. громоздкого или опасного оборудования, в виртуальном пространстве;

- в архитектуре, дизайне и конструировании обеспечивают использование Immersive Design Lab и подобного контента для изучения 3D-моделирования;

- образовательный туризм подразумевает виртуальные экскурсии по историческим местам, музеям или планетам; по цехам и объектам промышленных предприятий, электростанций и внутри технологического оборудования.

Преимущества VR-обучения: высокая концентрация обучающихся при отсутствии отвлекающих факторов при использовании VR-шлема; иммерсивность за счет эффекта полного присутствия повышает мотивацию и вовлеченность в учебу; эффективность запоминания, так как сочетание визуального, аудиального и кинестетического восприятия улучшает усвоение материала.

Несмотря на эффективность, внедрение VR идет медленно из-за консерватизма некоторых преподавателей, высокой стоимости оборудования, необходимости разработки качественного контента и ограничений СанПиН. Тем не менее, VR рассматривается как необходимый инструмент для подготовки кадров в эпоху Индустрии 4.0

### *Литература*

1. Революция в обучении: VR-технологии в современных ВУЗах. Доступ: <https://svetak.ru/blog/revolyutsiya-v-obuchenii-vr-tehnologii-v-sovremennyh-vuzah>

2. Иммерсивные технологии в высшем образовании /Д. Давыдова, Г.Р. Гильванов, Я.В. Кукушкина, И.Ю. Романова//Общетеchnические задачи и пути их решения, 2023.1. С. 120-132. Доступ: <https://atjournal.ru/temp/9ba51bc8e55544b70a9f5edb550e7f7a.pdf>

## **ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И РАЗРАБОТКА РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СТРАТЕГИЙ**

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) являются ключевым элементом в построении устойчивого будущего [1]. Они снижают зависимость от ископаемых топлив, истощение которых наносят вред экосистемам и усугубляет климатические изменения [2].

Преимущества ВИЭ:

**Экологические:** Снижение выбросов парниковых газов, улучшение состояния атмосферного воздуха, сохранение водных ресурсов и природного биоразнообразия [3]. Несмотря на все достоинства, необходимо учитывать вопросы утилизации вышедших из строя солнечных панелей и лопастей ветрогенераторов [4]. Производство компонентов для фотоэлементов может сопровождаться образованием отходов.

**Экономические:** Снижение стоимости генерации электроэнергии, уменьшение импортной зависимости [5].

**Социальные:** Поддержка местных жителей, обеспечение доступа к энергоресурсам для всех слоев населения, развитие образовательных инициатив в области ВИЭ.

Ведущие позиции по внедрению ВИЭ занимают – Китай, Индия, Турция и Саудовская Аравия [6]. Россия также активно развивает солнечную и ветровую энергетику, заняв 34-е место в международном рейтинге по этим направлениям. На сегодняшний день совокупная мощность объектов ВИЭ в России составляет 6,67 ГВт.

Будущее энергетики объединяет множество направлений: атомная, термоядерная, водородная, а также альтернативные источники – солнечная, ветровая, биомассовая, гидроэнергетика, приливная и геотермальная энергия.

Ключевыми направлениями становятся водородная энергетика, модернизированная атомная энергетика (включая малые модульные реакторы), термоядерный синтез, утилизация угля, применение биотоплива, развитие геотермальной, создание мощных систем хранения энергии (аккумуляторов) [1].

Цель Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики – это создание рациональной структуры генерирующих мощностей и объектов электросетевого хозяйства, которая обеспечит стабильное и эффективное снабжение страны электроэнергией. В России за 2023 год и первую половину 2024 года установленная мощность электростанций на

основе ВИЭ в рамках оптового и розничных рынков страны увеличилась на 397 МВт, из них 340 МВт – в 2023 году и 104 МВт – с января по июнь 2024 года.

ВИЭ – это путь к снижению негативного воздействия на окружающую среду, укреплению энергетической независимости. Многие страны успешно переходят на «чистую» энергию, повышая свою экологическую и экономическую устойчивость [3].

#### *Литература*

1. Романов, Р. В. Возобновляемые источники энергии в России: развитие и перспективы / Р. В. Романов // Научные записки молодых исследователей. – 2022. – Т. 10, № 3. – С. 5–11.

2. Романов, Р. В. Возобновляемые источники энергии в России: развитие и перспективы / Р. В. Романов // Научные записки молодых исследователей. – 2022. – Т. 10, № 3. – С. 5–11.

3. Клёнов, В. Д. Актуальные вызовы и перспективы возобновляемой энергетики в Российской Федерации / В. Д. Клёнов // Вестник университета. – 2025. – № 3. – С. 68–77.

4. Губин, В. Ученые РФ: Отработавшие солнечные батареи можно использовать в космической и атомной промышленности / В. Губин // Агентство нефтегазовой информации. – 2025. – 10 апреля.

5. Максимов, А. Г. ВИЭ 2.0: Новая программа развития «зеленой» энергетики в России / А. Г. Максимов // Энергетическая политика. – 2020. – №11 (153). – С. 22–29.

6. Киселева, С. В. Современное состояние и тенденции использования ресурсов возобновляемой энергетики на территории Российской Федерации / С. В. Киселева // Ломоносовские чтения – 2025, секция географии. – М.: МГУ, 2025. – 27 марта.

УДК 620.92

*Барabanов С.А., Руденко Е.О., Майорова Н.Д.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

### **ЭНЕРГЕТИКА РОССИИ: ВЫЗОВЫ, РЕШЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Не смотря на развитие, энергетическая отрасль России сталкивается с рядом проблем, отражающихся на экономике страны, безопасности и уровне комфорта населения. Глобальными можно назвать проблемы старения оборудования, рост потребления энергии, зависимость от традиционных источников энергии. Существенным препятствием является устаревшая законодательная база.

Предлагаются следующие направления по проработке сложившихся положений:

1. Законодательная поддержка. Модернизация законодательства, упрощение процедур подключения к сетям, внедрение единых тарифных схем.
2. Финансовые механизмы. Создание специализированных банковских инструментов для развития распределённой генерации.
3. Технологическая модернизация. Внедрение «умных сетей», цифровизация подстанций, интеграция автоматизированных систем управления нагрузкой
4. Общественное участие и прозрачность. Проведение общественных слушаний и привлечение местных сообществ к обсуждению проектов позволит учесть интересы всех участников системы.
5. Интеграция международного опыта. Многие западные страны успешно внедряют модели распределённой генерации и гибридных энергетических систем. Использование их опыта, адаптированного под российские условия, позволит ускорить модернизацию отрасли.

Обобщая, российская энергетика стремится обеспечить оптимальное урегулирование накопившихся дилемм, прорабатывая вопросы изношенной инфраструктуры, финансовых и технологических ограничений и неравномерный спрос на электроэнергию. Перспективным является развитие атомной генерации, постепенное увеличение доли возобновляемых и экологических источников энергии, углубление цифровизации, которые способствуют повышению эффективности, надёжности и устойчивости энергосистемы в долгосрочной перспективе.

УДК 620.92

*Дасаев Б.Р., Майорова Н.Д.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)  
**ПРИЧИНЫ НАРАЩИВАНИЯ ЭНЕРГОЁМКОСТИ  
НАСЕЛЕНИЯ**

Современное общество демонстрирует устойчивый рост потребления электроэнергии, обусловленный развитием экономики, повышением уровня жизни и урбанизацией. Анализ данных подтверждает, что эти факторы существенно влияют на рост энергетической нагрузки.

Основные причины:

1. Рост бытового потребления: за последние десять лет оно выросло на 32%, в основном благодаря расширению электрификации домов, переходу на удаленную работу и внутреннему туризму. В 2023 году его доля составляет около 15,7% от общего потребления.

2. Климатические факторы: В южных регионах увеличиваются суточные пики из-за кондиционеров, а в северных — спрос на отопление и загородное строительство. Всё это требует расширения мощностей генерации.

3. Микрогенерация: Распространение солнечных панелей и гибридных систем в домах помогает снизить нагрузку на сеть, но в РФ развитие связано с высокой стоимостью и низким солнечным потенциалом.

Рост потребления вызывает увеличение перекрёстного субсидирования тарифов. За годы 2015–2024 оно выросло на 26%, создавая финансовое давление и угрозу стабильности энергосистемы.

Рост энергоёмкости обусловлен технологическим прогрессом и урбанизацией. Для обеспечения устойчивого развития необходимо усиливать энергоэффективность, развивать возобновляемые источники и модернизировать инфраструктуру.

УДК 620.9

*Лобанов С.С., Катасонов М.С., Исаев А.С.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ: АНАЛИЗ И СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ**

Энергоэффективность является ключевым направлением развития современного общества. В условиях роста энергопотребления и индустриализации вопрос эффективного использования ресурсов становится особенно актуальным. Региональные власти Тульской области активно внедряют политику энергоэффективности для устойчивого развития.

Целью исследования является разработка комплексной стратегии повышения энергоэффективности в Тульской области на основе анализа проблем и потенциала модернизации.

Проведённое исследование показывает, что регион обладает значительным потенциалом (30-35% от текущего потребления) для дальнейшего повышения энергоэффективности. Реализация комплексной стратегии позволит региону войти в ТОП-20 энергоэффективных субъектов РФ к 2030 году.

Основное направление политики — модернизация промышленных предприятий и жилого сектора, внедрение инновационных и альтерна-

тивных технологий. Регион развивает возобновляемую энергетику (солнечную и ветровую), снижая зависимость от импорта ресурсов и улучшая экологию. С 2020 по 2024 год введено 17 станций для заправки транспорта сжиженным природным газом, 4321 транспортное средство переведено на метан. К 2026 году удельная энергоёмкость ВРП должна снизиться до 23,0 кг у.т./тыс. руб.

Программа развития электроэнергетики на 2022–2026 годы и до 2028 года предусматривает рост потребления до 12 млрд 128 млн кВт·ч и мощности до 1873 МВт.

Основные вызовы: устаревшие технологии, низкая информированность населения, дефицит инвестиций, пробелы в нормативной базе, высокие теплопотери. Для прогресса необходимо активнее внедрять энергосберегающие технологии, расширять образовательные программы и укреплять межведомственное сотрудничество. Реализация этих мер потребует усилий власти, бизнеса и общества, но позволит региону выйти на новый уровень энергоэффективности.

УДК 621.548

*Фетисов Ю.С., Чернова Т.Ю.*

(ГПОУ ТО «Новомосковский политехнический колледж»)

### **ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА - ОТ НАЗЕМНЫХ ТУРБИН К ЛЕТАЮЩИМ ГЕНЕРАТОРАМ**

Более 60% мирового электричества производится из ископаемого топлива [3]. Запасы топливных ресурсов исчерпаемы. Цена на топливо растёт, растёт и стоимость киловатт-часа.

Страны, у которых нет своих углеводородов, вынуждены покупать их. Политический кризис или перебои с поставками могут оставить миллионы людей без света и тепла.

Одно из актуальных направлений альтернативной энергетике - использование энергии ветра. Ветер вращает лопасти ротора ветротурбины. Механическая энергия передаётся на генератор напрямую или через редуктор. Генератор вырабатывает переменный ток [1]. Далее следует стабилизация параметров тока. Контроллер преобразует переменный ток в постоянный. Это нужно для зарядки аккумуляторов. Затем инвертор превращает постоянный ток обратно в переменный, с напряжением 220 вольт и частотой 50 герц. Ветер изменяется, поэтому системы накопления энергии становятся не роскошью, а необходимостью.

Преимущества ветроэнергетики: отсутствие выбросов; низкие эксплуатационные расходы; неисчерпаемость; создание рабочих мест; снижение зависимости от импорта [2].

Проблемы: зависимость от погодных условий; большие начальные затраты; необходимость больших площадей; влияние на птиц и ландшафт; переработка композитных лопастей [3].

К инновациям относятся летающие генераторы: работающие на высоте 300-500м [3]. На высоте ветер в 5-8 раз сильнее и стабильнее [2]. Летающий генератор можно быстро развернуть в любом месте.

По прогнозам роста доли ветряных электростанций в мировом энергобалансе к 2050 году должен составить до 20% [3].

#### *Литература*

1. Харитонов В.П., Шишкин Н.Д. Ветроэнергетика: от турбины до магистральной сети. - М.: Издательство МЭИ, 2023. - 312 с.
2. Овчаров А.В., Сидельников С.И., Первухин В.Л. Альтернативная энергетика и гибридные системы. - Новомосковск: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2024. – 208 с.
3. Zuo Y., Liu X. Airborne Wind Energy: Principles and Applications. – Singapore: Springer, 2025. – 186 p.

УДК 621.311

*Антонов Р.В., Ощурков М.Г.,*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

### **ПЛАТА ЗА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ПО ПЕРВОЙ-ТРЕТЬЕЙ ЦЕНОВЫМ КАТЕГОРИЯМ**

Изложенная вербально в Постановлениях Правительства РФ система расчетов за ЭЭ по ценовым категориям (ЦК) нами описана аналитически в виде формул для определения платы за ЭЭ по 1ЦК÷6ЦК.

По 1ЦК месячная плата за электроэнергию определяется:

$$П_{1ЦК} = b_{1ЦК} \cdot W_m,$$

где  $W_m$  – потребленная за месяц электроэнергия, учтенная счетчиками, МВтч;  $b_{1ЦК}$  – тарифная ставка за электроэнергию по 1ЦК в данном месяце, руб/МВтч.

Плата за ЭЭ (мощность) по 2ЦК:

$$П_{2ЦК} = b_p \cdot W_p + b_{np} \cdot W_{np} + b_n \cdot W_n,$$

где  $b_p, b_{np}, b_n$  – тарифные ставки за электроэнергию в данном месяце соответственно в пиковую, полупиковую и ночную зоны суток, руб/МВтч;  $W_p, W_{np}, W_n$  – месячное потребление электроэнергии в соответствующие зоны суток, МВтч.

Плата за ЭЭ (мощность) по 3ЦК:

$$П_{3ЦК} = a_{ОРЭ} \times P_{ОРЭ} + \sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^{24} (b_{ij} \times W_{ij})$$

где  $b_{ij}$  – тарифная ставка за электроэнергию в  $i$ -е сутки,  $j$ -й час, руб/МВтч;  $W_{ij}$  – потребленная за час электроэнергия, МВтч;  $I$  – число суток в месяце, шт.;  $a_{ОРЭ}$  – тарифная ставка за мощность на оптовом рынке (ОРЭ), руб/МВт;  $P_{орэ}$  – мощность, приобретаемая на ОРЭ, МВт.

$$P_{ОРЭ} = \frac{\sum_{r=1}^R P_{ОРЭ r}}{n_{рд}}$$

где  $P_{ОРЭ r}$  – среднечасовая мощность, фиксируемая в отчетный час пиковой нагрузки (ОЧПН)  $r$ -го рабочего дня, МВт;  $R$  – множество рабочих дней месяца;  $n_{рд}$  – количество рабочих дней в месяце, шт.

УДК 620.9

*Барабанов С.А., Руденко Е.О., Майорова Н.Д.*  
*(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)*

### **ПЛАНИРУЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ С 2026 ПО 2031 ГОДЫ**

Энергетическая отрасль России в настоящее время сталкивается с рядом серьёзных проблем, которые отражаются как на экономике страны, так и на безопасности населения и уровне комфорта. Большая часть инфраструктуры была построена ещё в советский период, и срок эксплуатации многих объектов превышает проектный. Старение оборудования приводит к регулярным перебоям, отключениям в подаче электроэнергии и необходимости частых ремонтов, что, в свою очередь, создаёт значительные финансовые нагрузки на компании и государство [1].

Развитие электроэнергетики нашей страны предусмотрено в приказе Министерства энергетики РФ №1553 от 28.10.2025 г. «Схема и программа развития» (СиПР)[2], предполагающая план наиболее реалистичного технически необходимого развития электроэнергетики на шесть лет вперёд.

Согласно «СиПР», прогнозируемое ежегодное увеличение потребления электроэнергии в нашем регионе приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Прогнозируемое увеличение потребления электроэнергии

Год	2026	2027	2028	2029	2030	2031
%	1,4	2,9	3,3	2,3	1	3

За шестилетний период потребление вырастет на 1610 млн кВт·ч, или примерно на 13,7 %.

К ключевым мероприятиям по развитию электрических сетей и обеспечению надежности энергосистемы относятся **строительство подстанции «Левша» 500 кВ и линии электропередачи, проходящей через Тульскую область, от атомной станции «Курская» до подстанции «Новое Кедрово» в Московской области напряжением 750 кВ.**

Планируемые мероприятия обеспечат выполнение требований к балансовой надежности энергосистемы Тульской области, предотвратят дефицит мощности и создадут условия прогнозируемым темпам роста потребления электрической энергии.

Капитальные вложения в строительство объектов электросетевого хозяйства Тульской области в 2025 году составили 283 миллиона рублей. Прогнозируемые капитальные вложения с 2026 по 2031 годы приведены в таблице 2.

Таблица 2- Прогнозные объёмы капитальных вложений

Год	2026	2027	2028	2029	2030	2031
млн руб.	388	531	547	6979	7157	20468

Итого за период 2026 - 2031 годы капитальные вложения составят 36070 млн руб.

Реализация мероприятий позволит поддерживать установленные параметры надежности и обеспечивать бесперебойное электроснабжение ключевых потребителей региона, снизит риск аварий.

Реализация указанных мероприятий, связанных с развитием энергетического сектора, объективно требует расширения штата профильных специалистов и существенного наращивания количества студентов профильных вузов и колледжей.

#### *Литература*

1. Елетина В. Мы вступаем в эру электричества / Елетина В., Киселёва Т. // РБК (газета). 2025. №134. С.2-3.

2. Минэнерго России. Приказ от 15.03.2025 № 1553 «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2026–2031 годы».

*Барабанов С.А., Руденко Е.О., Научный руководитель – Исаев А.С.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И.Менделеева)

## **ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЁТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ**

Расчёт переходных процессов в электроэнергетике имеет важное прикладное значение. Электромагнитные переходные процессы используются для выбора оборудования по условиям существования аварийного режима (токи короткого замыкания), электромеханические – для оценки устойчивости.

Целью работы является сравнительный анализ методов расчёта переходного процесса в линейной RL-цепи. Расчёт основан на прямых математических методах (аппарат дифференциального и операционного исчисления).

В качестве программного средства принят MathCAD – из-за простоты использования (интуитивно понятный интерфейс) при высоких функциональных возможностях. Ранее MathCAD использовался большей частью как высокоинтеллектуальный калькулятор – преимущественно для организации вычислительного процесса. Можно сделать следующий шаг – отказаться от теоремы разложения при получении оригиналов функции в пользу функций MathCAD, а также использовать расчёт в аналитической форме средствами символьной математики.

Выполнен расчёт параметров переходного процесса RL-цепи тремя методами (классический, операторный, непосредственное решение дифференциального уравнения). При этом расчёт операторным методом аналитическим решением уравнений выполнен дважды – методом обратной матрицы (в аналитическом виде) и поисковым решением (минимизация невязки) явно заданных уравнений функцией *Find*.

Результаты расчётов идентичны, их корректность подтверждается выполнением закона коммутации (ток через индуктивный элемент не изменяется скачком) и общей топологией схемы (свободный процесс затухает, что соответствует о возникновении нового устойчивого режима). Для практической реализации оптимальным представляется операторный метод расчёта – он обладает большей гибкостью (позволяет анализировать переходный процесс и при противоречивых начальных условиях – в ситуации, когда не могут быть одновременно выполнены все законы коммутации) и простотой вычислительных методов (используются методы линейной алгебры).

**ПЛАТА ЗА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ПО ЧЕТВЕРТОЙ-ШЕСТОЙ  
ЦЕНОВЫМ КАТЕГОРИЯМ**

Система расчетов за ЭЭ по ценовым категориям (4ЦК-6ЦК) нами описана аналитически в виде формул для определения платы за электроэнергию (ЭЭ).

Плата за ЭЭ (мощность) по 4ЦК:

$$П_{4ЦК} = a_{ОРЭ} \times P_{ОРЭ} + a_C \times P_C + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{24} (b_{ij} \times W_{ij})$$

где  $P_C$  – мощность передачи по сетям, кВт;  $a_C$  – тарифная ставка за передачу мощности по сетям (руб/МВт). Остальные параметры – как для 3ЦК.

$$P_C = \frac{\sum_{r=1}^R P_{Cr}}{n_{рл}}$$

где  $P_{Cr}$  – максимальная мощность из диапазона часов рабочих суток, задаваемых ОАО "СО ЕЭС" на каждый месяц текущего года (плановые часы пиковой нагрузки по месяцам).

Плата за ЭЭ (мощность) по 5ЦК:

$$П_{5ЦК} = a_{ОРЭ} \times P_{ОРЭ} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{24} (W_{ijф} \times b_{ijф} + (W_{ijп} - W_{ijф} \times b_{ij(+)}))'$$

где  $W_{ijф}$ ,  $W_{ijп}$  – соответственно фактическое и плановое часовое потребление электроэнергии в  $i$ -е сутки,  $j$ -й час суток в месяце, МВтч;  $b_{ijф}$  – тарифная ставка за фактически потребленную электроэнергию в соответствующий час, руб/МВтч;  $b_{ij(+)}$  – тарифная ставка за превышение фактического  $W_{ijф}$  над плановым  $W_{ijп}$  потреблением.  $b_{ij(-)}$  – тарифная ставка за превышение  $W_{ijп}$  над  $W_{ijф}$  (недобор) в  $i$ -й день,  $j$ -й час месяца, руб/МВтч.  $a_{ОРЭ}$ ,  $P_{ОРЭ}$  – то же, что и для ЦКЗ.

Плата за ЭЭ (мощность) по 4ЦК:

$$П_{6ЦК} = a_{ОРЭ} \times P_{ОРЭ} + a_C \times P_C + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{24} (W_{ijф} \times b_{ijф} + (W_{ijп} - W_{ijф} \times b_{ij(+)}))'$$

где  $a_{ОРЭ}$ ,  $P_{ОРЭ}$  определяются как для 3ЦК,  $a_C$ ,  $P_C$  – как для 4ЦК.

УДК 621.311

*Дасаев Б.Р., Чебану Е.М., Научный руководитель – Исаев А.С.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

## **ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ГРАФИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

Для принятия обоснованных решений на ОРЭМ необходима заявка суточного (почасового) графика электрической нагрузки. Нами исследованы временные ряды нагрузки ведущих предприятий Тульской области, информация получена из открытых источников. В современных условиях из-за нестабильности экономики график нагрузки является резко нестационарным – нельзя его параметры оценивать на перспективу по средним значениям по аналогии с текущим периодом. В этой связи возникают сложности при использовании традиционных методов краткосрочного оперативного прогнозирования из-за того, что авторегрессионные модели (проинтегрированного скользящего среднего) не дают достоверной оценки (средняя погрешность подобного прогноза около 8%). Известно, что величина электропотребления ведет себя более предсказуемо при увеличении величины осреднения графика – с приемлемой погрешностью прогнозировать суммарное суточное электропотребление можно. Но декомпозиция суммарной величины по часам приводит к погрешности около 6%.

Наилучший результат получен при использовании нейросетевых методов, в качестве инструмента принят Matlab (приложение Neural Networks Toolbox). Методика прогнозирования включает в себя следующие этапы: импорт исходных данных, сглаживание временного ряда, верификация с возможной интерполяцией, построение прогнозной модели, анализ адекватности результата с возможной коррекцией расчетных условий.

Установлено, что наилучшие результаты при решении оптимизационной задачи и обучении сети дает использование алгоритма Левенберга-Марквардта. Точность прогноза определяется, прежде всего, обработкой массива входной информации. Превалирующее значение имеет преобразование самой величины в виде представления ряда в виде приращений мощности (погрешность прогноза – 3,3%) и выполнение нормирования (при проведении расчётов в относительных единицах погрешность – 3,5%). Наилучший результат (погрешность – 2,9%) показывает консенсус-прогноз – выполнение двух отдельных прогнозов (нормированный ряд нагрузки, нагрузка в виде приращений) с принятием среднего значения прогнозной величины.

## **СОГЛАСОВАНИЕ СТАНДАРТОВ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ**

Расчёт токов короткого замыкания (КЗ) является в электроэнергетике определяющим для принятия проектных решений. Интеграционные процессы в экономике требуют согласования различных стандартов расчёта, которые можно разделить на четыре группы: 1. отечественные (нормативные документы РФ; 2. североамериканские (стандарты ANSI и IEEE); 3. международные (МЭК); прочие.

В качестве объекта исследования выбрано крупное многономенклатурное химическое предприятие ООО «Щекиноазот». В силу геополитических причин в настоящее время предприятие вынуждено переориентировать свою деятельность на корпорации Китая (прежде всего – China National Chemical Engineering). В проектной документации приводятся лишь результирующие параметры и некоторые самые общие расчётные соотношения без полной методики расчёта. Выполнен расчёт токов КЗ в сети современного промышленного предприятия на всех уровнях напряжения. Для объекта исследования установлена стойкость к протеканию тока аварийных режимов. Это обусловлено соответствующими проектными (установка на отходящих высоковольтных линиях токоограничивающих реакторов) и безопасными эксплуатационными (глубокое секционирование с отдельной работой отдельных секций) решениями.

Можно говорить об удовлетворительном согласовании результатов сети 6 кВ и чрезмерную (49,2%) разницу в сети 0,4 кВ. Последнее объясняется необходимостью учёта в низковольтной сети дополнительных факторов – переходное сопротивление контактов, первичных соединений измерительных трансформаторов тока (в стандарте МЭК этого нет). ГОСТ РФ упрощенно учитывает это одним дополнительным активным сопротивлением.

В результате работы можно сделать выводы: 1. подтверждена необходимость терминологического аппарата на основе инженерного перевода документации; 2. получены согласованные значения токов КЗ в сети выше 1 кВ, что подтверждает общность подходов к формированию расчётной модели и единство математического аппарата 3. установлена необходимость дополнительного исследования низковольтной сети.

**ОСОБЕННОСТИ УЧЁТА ЯВНОПОЛЮСНОСТИ СИНХРОННЫХ  
МАШИН**

Явнополюсность – свойство несимметрии магнитной системы синхронной машины. Количественно это проявляется в неравенстве сопротивлений по поперечной и продольной оси ротора (система координат « $d$ - $q$ » связана с движущимся ротором).

Целью работы является верификация модели идеализированной (абсолютно симметричной) синхронной машины. Методы исследования основаны на прямых (непосредственных) математических процедурах. Инструментальным средством принят электронный процессор MS Excel (надстройка «Поиск решения»/«Solver» при изменении угла  $\delta$  между векторами ЭДС и напряжения до  $180^0$  – при бóльшем значении генератор переходит в двигательный режим). Объектом исследования является простейшая энергосистема – генераторная станция, работающая на шинах неизменного напряжения (параметры элементов приняты типичными для массовой номенклатуры оборудования).

Для рассмотренной системы устойчивость является обеспеченной. Подтверждено, что действие автоматики (АРВ) приводит к увеличению запаса устойчивости, что соответствует известным положениям теории электромеханических переходных процессов (улучшение устойчивости при уменьшении суммарного сопротивления – соответствует теории электромеханических переходных процессов). Установлено отсутствие принципиальных расхождений (в пределах допустимой погрешности в 5%) значений запаса устойчивости для нерегулируемой машины. Получено существенное расхождение параметров (для запаса по мощности превышает 20%) при установке на генераторе АРВ (форсировка возбуждения). При этом учёт явнополюсности приводит исключительно к повышению устойчивости. Поэтому для упрощенных оценок можно пренебречь явнополюсностью – в этом случае рассматриваются более тяжёлые расчётные условия. Но результат в этом случае будет необоснованно заниженным.

Развитие работы представляется в расчёте произвольной энергосистемы (в этом случае учитывается и активное сопротивление, что актуально при использовании современных кабельных линий напряжения 35-110 кВ). Также возможно усложнение модели, заключающееся в учёте контуров возбуждения и демпфирования.

УДК 621.3.001

*Канунников А.В., Салтанов Б.В., Научный руководитель – Исаев А.С.*  
(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Моделирование переходных процессов – актуальная задача электроэнергетики, направленная, прежде всего, на проверку элементов системы по условиям протекания наиболее тяжёлого режима и системной устойчивости. В учебном процессе рассматриваются преимущественно цепи постоянного тока из-за наглядности оценки результатов и более простых моделей. Но практическую ценность представляют собой именно режимы переменного тока – именно этот род тока в подавляющем большинстве используется в промышленности. Подобные процессы характеризуются более высокой динамикой параметров из-за изменения параметров источников ЭДС, представляющих собой периодические функции. Это приводит к множеству решений, определяемых начальными условиями (параметры предшествующего режима и законы коммутации). На практике, как правило, рассматривают теоретически самые тяжёлые (при выборе электрооборудования) или наиболее лёгкие (при проверке устройств защиты на чувствительность) расчётные условия.

Целью работы является математическое моделирование переходного процесса типичной цепи переменного тока с несколькими накопителями энергии. Методы основаны на адаптации пакетов прикладной математики для визуального моделирования рассматриваемого процесса. В качестве программного средства принята библиотека SimPowerSystems Matlab – выбор обусловлен оптимальными функциональными возможностями программы.

Выполнено моделирование переходного процесса RLC-цепи переменного тока. Получена динамика параметров режима при изменении расчётных условий. Адекватность модели объекту подтверждается общей топологией цепи (соответствует первому закону Кирхгофа). Корректность результатов – выполнением закона коммутации (ток через индуктивность не изменяется скачком при изменении начальных условий, аналогично поведению напряжения на конденсаторе) и соответствием параметров нового установившегося режима результатам расчёта по стандартной методике (классический метод расчёта с декомпозицией режима на принуждённую составляющую и свободный процесс).

*Катасонов М.С., Лагуткин О.Е., Чиркова Т.Ю.*  
(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)  
**ЗАЩИТА ЭНЕРГООБЪЕКТОВ: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И  
СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ**

С развитием беспилотных авиационных систем (БАС, или дронов) энергетическая инфраструктура столкнулась с новой угрозой. Умышленные атаки дронами на подстанции и распределительные пункты могут привести к повреждению ключевых элементов, включая устройства релейной защиты и автоматики (РЗА), что чревато масштабными авариями и длительными перерывами в электроснабжении. Вопрос защиты РЗА от подобных налетов становится критически важным. Почему устройства РЗА уязвимы?

Дроны могут быть использованы для:

- Физического повреждения шкафов и панелей РЗА (столкновение, подрыв).
- Радиопомех (глушение) каналов связи и телемеханики, нарушающих работу цифровых защит.
- Кибератак через уязвимости интерфейсов связи для изменения уставок или отключения защиты.

Многоуровневая система защиты: от периметра до «последнего рубежа»

1. Уровень обнаружения и раннего предупреждения

- Радарные системы: Обнаруживают БАС на дальних подступах, определяют траекторию полета.
- Радиочастотные (RF-) и акустические сканеры: Выявляют сигналы управления дроном или характерный шум двигателей.
- Оптоэлектронные системы (камеры с ИК-фильтрами, тепловизоры): Обеспечивают визуальное подтверждение и сопровождение цели в любое время суток.

2. Уровень активного противодействия

- Радиоэлектронная борьба (РЭБ): Глушение командных каналов и сигналов GPS/ГЛОНАСС, принудительная посадка или возврат дрона.
- Лазерные или СВЧ-системы: Физическое поражение цели высокоэнергетическим лучом.

- Перехват сетевыми дронами или птицами-роботами: Захват нарушителя в воздухе.

### 3. Уровень физической защиты (непосредственно для РЗА)

- Усиление конструкций: Установка антиударных и противовзломных кожухов, бронированных шкафов для панелей РЗА.
- Размещение в защищенных помещениях: Перенос наиболее важных устройств в укрепленные здания или подземные помещения.
- Экранирование: Применение экранов для защиты от электромагнитного воздействия, способного нарушить работу микропроцессорных терминалов.

### 4. Уровень инженерно-технической и киберзащиты

- Резервирование и дублирование: Использование разнородных каналов связи (проводные оптоволоконные линии, защищенные радиоканалы) для передачи аварийных сигналов.
- Кибербезопасность: Строгая сегментация сетей РЗА, межсетевые экраны, постоянное обновление ПО, криптографическая защита данных.
- «Умная» логика: Внедрение в алгоритмы РЗА дополнительных проверок достоверности команд при подозрении на внешнее вмешательство.

### Организационные меры

Разработка регламентов действий персонала при угрозе БПЛА.

Взаимодействие с силовыми структурами.

Регулярные учения и оценка уязвимости объектов.

Защита релейной защиты от дронов — это комплексная задача, требующая сочетания физического укрепления, активного противодействия, киберзащиты и организационной готовности. Наиболее эффективен системный подход, интегрирующий все уровни обороны. Инвестиции в такие системы — это не просто затраты, а необходимое условие обеспечения надежности и устойчивости энергосистемы в современном мире.

### *Литература*

1. Википедия. Релейная защита [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/39fR3a> (Дата обращения: 23.03.2024).

2. В.Н.Копьев Релейная защита: учебное пособие. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. 160 с.

*Коваленко А.И., Ползиков М.Н.*  
 (Новомосковский институт РХТУ им.Д.И.Менделеева)  
**РАБОТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ  
 НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ**

При несимметричном режиме напряжений в трехфазной системе появляются токи и напряжения обратной и нулевой последовательности, создающие в электрических машинах обратное синхронное поле частотой 100 Гц, которое с свою очередь наводит в обмотках роторов электрических машин ЭДС и токи аналогичной частоты. Если разложить это поле на симметричные составляющие, то возникнут ЭДС и токи в староре тройной частоты и спектр всех нечетных частот, а в обмотках ротора — спектр четных частот, которые создадут потери и вызовут нагрев электрических машин.

Токи и напряжения обратной последовательности в электродвигателях не только вызывают дополнительный нагрев, но и вибрацию; обратное синхронное поле создает противодействующий момент, уменьшающий полезный момент на валу двигателей.

Потери от токов обратной последовательности, вызываемых несимметрией нагрузок фаз, составляют [1]:

$$P_{Me} = 2,41 \cdot \varepsilon \cdot I_{\Pi}^2 \cdot P_{M1ном}$$

где  $\varepsilon = U_{обр}/U_{ном}$  - коэффициент несимметрии.

Коэффициент полезного действия двигателя снижается до значения

$$\eta = \eta_{ном} \cdot P_{ном} / (P_{ном} + P_{Me})$$

Таким образом, влияние несимметрии нагрузки и вызванное этим искажение напряжений и токов по значению и форме кривой  $u(t)$  и  $i(t)$  проявляется в повышении потерь мощности и снижении КПД асинхронных двигателей. Рост потерь сопровождается дополнительным нагревом двигателей, снижением их допустимой нагрузки. Учет данных выводов особенно актуален при распределении нагрузок проектируемых объектов промышленных предприятий.

*Литература*

1. Карташов И.И. Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения/ Под ред. М.А. Калугиной. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 120 с., ил.

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПУТЕМ СИММЕТРИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Целью симметрирования напряжения является уменьшение напряжений и токов обратной и нулевой последовательностей. Во внутризаводских электросетях особенно актуально снижение электрических параметров обратной последовательности, чем нулевой, как более влияющей на работу трехфазных электродвигателей переменного тока, включенных на несимметричные линейные напряжения.

Снижение токов обратной и нулевой последовательностей для достижения нормируемого коэффициента несимметрии 2% требует применения симметрирующих устройств, которые выполняются индуктивностью и емкостью, так как включение активных сопротивлений для симметрирования приводит к потреблению дополнительной активной мощности. Многофункциональные фильтросимметрирующие устройства (ФСУ) дополнительно используются для компенсации реактивной мощности.

На рис.1 приведена схема многофункционального ФСУ, построенного на основе статических линейных реакторов и регулируемых батарей конденсаторов [1]. К их достоинствам следует отнести быстрдействие, защищенность от высших гармоник, отсутствие вращающихся частей.

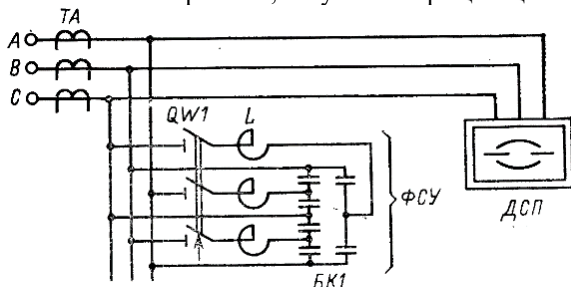


Рисунок 1 – Пример многофункционального фильтросимметрирующего устройства

### Литература

1. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий.- М.: Энергоатомиздат, 1987.- 336 с.: ил

*Козулев А.А., Ползиков М.Н.,*  
(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)  
**РАСЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ПРИ  
НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ**

Для расчета дополнительных потерь, вызванных несимметрией напряжения на вводах асинхронного двигателя может быть использовано следующее выражение [1]:

$$\Delta P_{\text{АД}} = 2,41 \Delta P_{\text{М1НОМ}} K_1 \varepsilon_U^2$$

где  $\Delta P_{\text{М1НОМ}}$  — потери в меди статора при номинальном токе основной частоты;  $K_1$  — кратность пускового тока при номинальном напряжении основной частоты;  $\varepsilon_U$  — коэффициент несимметрии напряжения в отн. ед.

Дополнительные потери в статоре синхронного двигателя значительно меньше аналогичных потерь в обмотке ротора

$$\Delta P_{\text{СМ}} = \Delta P_{\text{ДНОМ}} \frac{U_2^2}{Z_{2\text{СМ}}^2},$$

где  $\Delta P_{\text{ДНОМ}} = 3I_{\text{НОМ}}^2 r_{2\text{Р}}$  — дополнительные потери в синхронном двигателе при токе обратной последовательности, равном номинальному;  $r_{2\text{Р}}$  — активное сопротивление обратной последовательности обмотки ротора;  $Z_{2\text{СМ}}$  — полное сопротивление обратной последовательности.

Дополнительные потери в силовых трансформаторах

$$\Delta P_{\text{Т,нс}} = \left( \Delta P_{\text{ХХ}} + \frac{\Delta P_{\text{КЗ}}}{u_{\text{к,}\%}} \right) \varepsilon_U^2$$

где  $\Delta P_{\text{ХХ}}$ ,  $\Delta P_{\text{КЗ}}$ ,  $u_{\text{к}}$  — расчетные данные трансформатора.

При несимметрии линейных напряжений реактивная мощность, генерируемая батареей конденсаторов, изменяется на величину

$$\Delta Q_{\text{НОМ}} = Q_{\text{НОМ}} \frac{U_{\text{НОМ}}^2 - U_1^2 (1 + \varepsilon_U^2)}{U_{\text{НОМ}}^2},$$

где  $U_1$  — линейное напряжение прямой последовательности.

$$\Delta P_{\text{КБ}} = Q_{\text{НОМ}} \operatorname{tg} \varphi \varepsilon_U,$$

где  $Q_{\text{НОМ}}$  — номинальная мощность конденсаторной батареи;  $\operatorname{tg} \varphi$  — тангенс угла диэлектрических потерь;  $\varepsilon_U$  — относительное значение коэффициента несимметрии.

### *Литература*

1. Карташов И.И. Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения / Под ред. М.А. Калугиной. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 120 с., ил.

УДК 621.374.4

*Колесников Е.Б., Дасаев Б.Р.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

### **ГАРМОНИЧЕСКИЙ УДВОИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ**

Умножители частоты применяются в тех случаях, когда необходимо получить высокую стабильную частоту сигнала при относительно низкой частоте задающего кварцевого генератора. Недостатком известных удвоителей частоты является высокий уровень сопутствующих гармоник на выходе, что искажает форму выходного напряжения и снижает точность преобразования частоты. Наличие интегратора в некоторых из них приводит к необходимости применения преобразователей частота-напряжение, что значительно снижает их быстродействие. Разработанный удвоитель частоты свободен от указанных недостатков.

Гармонический удвоитель частоты содержит задающий генератор, блок деления, амплитудный детектор, два перемножителя, фазовращатель и усилитель [1].

Работа удвоителя частоты заключается в следующем. Выходное напряжение задающего генератора синусоидального напряжения с частотой  $\omega$  подается на вход блока деления и вход амплитудного детектора. После деления напряжения на его амплитуду, формируемую амплитудным детектором, в блоке деления, на его выходе формируется напряжение с единичной амплитудой, которое поступает на вход фазовращателя.

Фазовращатель сдвигает фазу синусоидального напряжения на угол  $90^\circ$  в сторону опережения, при единичном коэффициенте усиления. В результате чего на его выходе формируется косинусоидальное напряжение с единичной амплитудой. В первом перемножителе напряжения с выходов делителя и фазовращателя перемножаются, и на его выходе формируется напряжение равное половине произведения синусоидального и косинусоидального напряжений.

Усилитель усиливает полученное напряжение в четыре раза, и на его выходе формируется напряжение, равное синусоидальному напряжению с удвоенной частотой  $2\omega$  и единичной амплитудой.

Во втором перемножителе производится умножение полученного напряжения на его амплитуду, в результате происходит восстановление

амплитуды входного синусоидального напряжения.

*Литература*

1. Патент № 225735 РФ, МПК *H03B 19/00*. Гармонический удвоитель частоты / Е.Б. Колесников. Оpubл. 6.05.2024. Бюл. № 13.

УДК 621.39

*Колесников Е.Б., Руденко Е.О.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

**ДЕЛИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ СИНУСОИДАЛЬНОГО СИГНАЛА**

Большинство существующих делителей частоты имеют высокий уровень паразитных гармоник в выходном сигнале, что сказывается на их точности. Кроме того, их невысокая точность, объясняется тем, что они имеют не единичный коэффициент передачи в рабочем диапазоне входного сигнала. Некоторые из делителей частоты работоспособны только при фиксированной амплитуде входного напряжения, что также является их недостатком. Разработанный делитель частоты свободен от вышеприведенных недостатков.

Делитель частоты синусоидального сигнала содержит блок деления, амплитудный детектор, блок вычитания, фазосмещатель, источник постоянного напряжения, блок извлечения квадратного корня, блок масштабирования, переключатель полярности, счетный триггер, компаратор и перемножитель. [1].

Принцип действия делителя частоты заключается в следующем. Входное синусоидальное напряжение с частотой  $\omega$  подается на входы амплитудного детектора, блока деления и компаратора. После деления входного напряжения на его амплитуду, на его выходе формируется напряжение с единичной амплитудой, которое поступает на вход фазосмещателя. На выходе фазосмещателя формируется напряжение, сдвинутое по фазе относительно входного на угол  $90^\circ$ . Полученное напряжение вычитается в блоке вычитания из единичного сигнала, сформированного источником постоянного напряжения. Полученный сигнал ослабляется в два раза в блоке масштабирования. После извлечения квадратного корня в блоке квадратного корня из полученного напряжения, согласно тригонометрическому тождеству, на его выходе формируется напряжение, имеющее форму двухполупериодного выпрямления с частотой  $\omega/2$ . С помощью компаратора, счетного триггера и блока переключения полярности это напряжение преобразуется в синусоидальное, которое имеет частоту  $\omega/2$ . В перемножителе происходит восстановление амплитуды входного напряжения.

Таким образом, на выходе делителя частоты формируется синусои-

дальное напряжение с частотой в два раза меньшей частоты входного сигнала.

*Литература*

1. Патент № 225745 РФ, МПК *H03B 19/12*. Делитель частоты гармонического сигнала / Е.Б. Колесников. Опубл. 6.05.2024. Бюл. № 13.

УДК 621.311

*Красногрудский Д.А., Ощурков М.Г.,*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

**ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА СОСТАВЛЯЮЩИХ ПЛАТЫ ЗА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ**

Для розничного рынка электроэнергии (РРЭ) необходимо прогнозировать параметры составляющих платы за электроэнергию. Проанализированы динамика отчетных и плановых часов пиковой нагрузки (ОЧПН, ПЧПН), ставок за мощность на оптовом рынке и за передаваемую по сетям ( $a_{ОРЭ}$ ,  $a_c$ ), тарифных ставок дифференцированного тарифа в пиковой, полупиковой и ночной зонах ( $b_n$ ,  $b_{пп}$ ,  $b_n$ ) с января 2012 года ежемесячно. Использовались модели аппроксимации временного ряда.

Анализ данных выявил, что диапазоны ПЧПН с 2017 г. не меняются, а интервалы времени ОЧПН на 2026 г. можно принимать по Таблице 1. Таблица 1 – Ожидаемые ОЧПН на 2026 г.

Месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь
Инт., ч.	9-11; 17-19	10-11; 18-20	9-11; 19-21	9-11; 20-21	9-11; 13-15	10-12; 13-15
Месяц	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Инт., ч.	10-11; 13-15	10-12; 13-15; 20-21	9-11; 19-21	9-11; 18-20	10-11; 17-19	10-12; 17-19

Прогнозные модели получены в виде (1) – (5):

$$a_{ОРЭ} = 5738,8 \cdot N_M + 227685 \text{ (руб/МВт)}, \quad (1)$$

где  $N_M$  – номер месяца (с января 2012 г.).

$$a_{pc} = 674136e^{0,058 \cdot N_T} \text{ (руб/МВт)}, \quad (2)$$

где  $N_T$  – номер года (с 2012 г.)

$$b_n = 19,357 \cdot N_M + 2830 \quad (3)$$

$$b_{пп} = 30,061 \cdot N_M + 15,22 \cdot \sin(0,83 \cdot N_M) + 3506,1 \quad (4)$$

$$b_{п} = 61,133 \cdot N_M + 308,69 \cdot \sin(1,02 \cdot N_M) + 5017,6 \quad (5)$$

Релейная защита и автоматика (РЗА) — это «нервная система» и «иммунитет» любой электроэнергетической системы. От её скорости, точности и надёжности зависит бесперебойность снабжения потребителей и сохранность дорогостоящего оборудования. За последние два десятилетия средства РЗА претерпели радикальную трансформацию, перейдя от аналоговых реле к интеллектуальным цифровым комплексам.

1. Цифровизация как основа. Современная защита строится на микропроцессорных терминалах (МПТ), которые являются многофункциональными вычислительными устройствами. Одно такое устройство заменяет десятки электромеханических реле, реализуя до нескольких десятков функций защиты, автоматики, измерения, регистрации и контроля.

2. Фундамент на стандартах МЭК 61850. Этот международный стандарт совершил революцию в проектировании подстанций:

GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) — мгновенный обмен сигналами между устройствами по цифровой сети (например, для ускоренного отключения или логической защиты), заменяя сотни медных проводов.

SV (Sampled Values) — передача оцифрованных мгновенных значений тока и напряжения от трансформаторов непосредственно к защитным устройствам, что повышает точность и устраняет погрешности традиционных измерительных трансформаторов.

Стандарт обеспечивает интероперабельность — совместимость устройств разных производителей в одной системе.

3. Синхронизация с наносекундной точностью. Технология PTP (Precision Time Protocol, IEEE 1588) и спутниковые сигналы (GPS, ГЛОНАСС) позволяют синхронизировать все устройства в энергосистеме. Это критически важно для корректной работы дифференциальных защит линий, анализа векторных диаграмм и, главное, для создания единой временной метки событий — оцифрованных осциллограмм (COMTRADE), что бесценно при анализе аварий.

4. Расширенный анализ и диагностика. Современные терминалы — это не просто защита, а источники Big Data для энергосистемы:

- Встроенные регистраторы аварийных событий (запись токов, напряжений, статусов за миллисекунды до и после срабатывания).

- Мониторинг состояния оборудования (анализ дуговых повреждений, контроль износа выключателей, тепловой контроль трансформаторов).
- Самодиагностика и заблаговременное предупреждение о потенциальных отказах.

5. Интеграция в единое цифровое пространство. Устройства РЗА стали частью АСУ ТП (АСУЭ). Они обмениваются данными с верхним уровнем (SCADA) в режиме реального времени, что позволяет диспетчеру видеть не просто факт срабатывания, а полную картину процесса: графики, векторные диаграммы, осциллограммы.

6. Новые интеллектуальные алгоритмы. Помимо классических защит (дифференциальная, дистанционная, максимальная токовая), внедряются:

- Защиты, адаптирующиеся к режимам сети (например, дистанционная защита с коррекцией под сопротивление петли КЗ).
- Алгоритмы на основе искусственного интеллекта и машинного обучения для прогнозирования отказов и классификации сложных нештатных ситуаций.
- Локаторы повреждений с высокой точностью, встроенные прямо в терминал защиты линии.

Современные средства релейной защиты превратились из набора простых «сторожевых» элементов в цифровые, интеллектуальные, сетевые информационно-управляющие системы. Их главные векторы развития — сетецентричность (стандарт МЭК 61850), точность данных (оцифровка сигналов, синхронизация) и превентивная аналитика. Это позволяет не только аварийно отключать повреждённые участки, но и постоянно мониторить здоровье энергосистемы, предупреждая крупные системные аварии и повышая общую эффективность и устойчивость электроэнергетики.

#### *Литература*

1. Википедия. Релейная защита [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/39fR3a> (Дата обращения: 23.03.2024).

2. В.Н.Копьев Релейная защита: учебное пособие. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. 160 с.

*Руденко О.Е., Научный руководитель – Исаев А.С.*  
(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И.Менделеева)

## **РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

Для организации учебного процесса в дистанционной форме наиболее актуально обеспечить лабораторного практикума. Если лекционные и семинарские занятия реализуются в форме общения в чатах, мессенджерах и видеоплатформах, то традиционные лабораторные стенды плохо адаптированы к он-лайн занятиям (прежде всего, из-за низкой степени визуализации результатов). Поэтому необходимо в качестве альтернативы использовать виртуальные лабораторные стенды, реализованные программно. Преимуществом программной реализации является минимум материальных затрат.

Целью работы является программная реализация лабораторного стенда для исследования режимов цепей переменного тока. Программное средство – Matlab. Выбор обусловлен хорошими функциональными возможностями библиотек Simulink (реализация математических методов) и SimPowerSystems/SimScape (построение технических систем различной природы). Связь между учащимися осуществляется на уровне файлов – при этом программа обладает полной совместимостью различных релизов (в отличие от MathCAD, для которого наиболее современный релиз MathCAD Prime не открывает файлы более старых версий).

Традиционно виртуальные стенды критикуют за отказ от использования физической модели в явном виде. Но в данном случае компетенции схемотехники осваиваются при формировании модели, потому использование виртуальной лабораторной в дополнение к имеющимся традиционным стендам представляется вполне корректным.

Использование виртуальной лаборатории для исследования электрических цепей позволяет решить ряд практических задач электротехники: моделирование и расчёт цепей переменного (включая нелинейные и магнитосвязанные элементы) и постоянного тока; моделирование переходных процессов (включая несимметричные режимы и случаи некорректной коммутации), исследование переменных цепей при изменении расчётных условий (в частности, характер и способ соединения нагрузок); анализ резонансных явлений; расчёт четырёхполюсников. Таким образом, полностью формируется лабораторный практикум дисциплины «Теоретические основы электротехники».

Сурдаев А.В., Ползиков М.Н.,  
(Новомосковский институт РХТУ им.Д.И.Менделеева)

## РАСЧЕТ СНИЖЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ И НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ

При работе электрооборудования в номинальном режиме дополнительные потери от токов высших гармоник и несимметрии напряжения приводят к перегреву токоведущих частей выше допустимой температуры. К повышению температуры весьма чувствительна изоляция обмоток (старение, разрушение, снижение электрической прочности и т.д.), срок службы которой снижается. Вследствие этого основным параметром при расчете снижения срока службы электрооборудования является расчет прироста температуры основных частей.

Согласно [1] прирост температуры от токов высших гармоник и токов обратной последовательности

$$\Delta\tau = \tau_{\text{норм}} \frac{\Delta P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{нс}}}{\Delta P_{\text{ном}}}$$

где  $\tau_{\text{норм}}$  – рабочая температура электрооборудования без воздействия токов высших гармоник и токов обратной последовательности, °С,  $\Delta P_{\text{н}}$  и  $\Delta P_{\text{нс}}$  – дополнительные потери соответственно от токов высших гармоник и несимметрии напряжения.

Коэффициент снижения срока службы электрооборудования под воздействием токов высших гармоник и несимметрии напряжения

$$\frac{\Delta t}{t} = 0,086\Delta\tau + \frac{(0,086\Delta\tau)^2}{2}$$

Снижение срока службы электрооборудования под воздействием токов высших гармоник и токов обратной последовательности

$$\Delta t = t_{\text{норм}} \frac{\Delta t}{t}$$

где  $t_{\text{норм}}$  – нормальный срок службы оборудования, лет.

### *Литература*

1. Карташов И.И. Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения / Под ред. М.А. Калугиной. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 120 с., ил.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЧАСОВОГО ГРАФИКА НАГРУЗКИ  
УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

Для оценки выгоды перехода оплаты уличного освещения (УО) на 3 и 4 ценовые категории необходимо смоделировать профили мощности УО по часам, так как при оплате по 1 и 2 категориям они не фиксируются.

Исходные данные для анализа взяты из актов приема-передачи ЭЭ (мощности). В г. Новомосковск наиболее мощные точки поставки (ТП) рассчитываются по 2ЦК. Для предварительного анализа платы по разным ЦК взяты эти ТУ. Большинство ТП (129 шт.) питается с напряжения СН2, остальные (4 шт.) – с напряжения НН.

Смоделирован месячный график нагрузки, основываясь на следующих положениях.

1. Светильники УО включаются через 20 мин. после заката солнца и отключаются за 20 мин. до восхода. Не учитывали изменение времени восхода и заката по годам.  $t_{вкл}$ ,  $t_{откл}$ ,  $t_p$  соответственно: время включения, время отключения, время работы за сутки. Время работы за месяц  $t_{р\text{м}}$  определяется суммированием  $t_p$  по суткам.

2. Не учитывали, что часть светильников двухламповые и одна лампа отключается ночью, когда интенсивность движения по улицам минимальна.

3. Учитывая равномерный график нагрузки освещения, среднюю за час мощность по ТП определяли, как отношение месячного электропотребления ТП к общему времени работы за месяц.

4. Для формирования месячного графика нагрузки по ТП определяли среднечасовые мощности в относительных единицах  $P^*_{\text{ср ч}}$  для каждого часового интервала суток. Если светильники работают полный час ( $t_{рч} = 1$ , ч), то  $P^*_{\text{ср ч}} = 1$ , если не полный ( $t_{рч} = X$ , ч), то  $P^*_{\text{ср ч}} = X$ . Если светильник отключен –  $P^*_{\text{ср ч}} = 0$ .

5. Месячный график нагрузки каждой ТП в именованных единицах формировался умножением  $P^*_{\text{ср ч}}$  на  $P_{\text{ср ч}}$ . Суточные графики нагрузки по ТП отличаются из-за изменения продолжительности светового дня.

Таким образом, разработан метод формирования профилей мощности точек учета УО. Это позволит сделать предварительные расчеты для оценки выгоды перехода к оплате электроэнергии на уличное освещение по 3 или 4 ценовой категории

*Чебану Е.М., Научный руководитель – Исаев А.С.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И.Менделеева)

## **МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В MATLAB – ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ**

В технических системах различного происхождения динамический процесс в любом случае описывается системой дифференциальных уравнений (ДУ). Так в электроэнергетике количественная оценка переходного процесса (как электромагнитного в RLC-цепях, так и электро-механического в энергосистеме) приводит к решению ДУ. Целью работы является сравнительный анализ различных методов на основе использования пакетов прикладной математики с адаптацией имеющихся функций (без непосредственной программной реализации численных методов решения ДУ). В качестве инструментального средства (программная среда) принят Matlab (включая библиотеку математических функций и процедур Simulink) – выбор обусловлен высокими функциональными возможностями. Таким образом, возможно получение решения, не прибегая к использованию методов дифференциального исчисления в явном виде.

В результате выполнено решение ДУ в Matlab различными методами: 1. символьное решение (скрипт Matlab); 2. программная реализация численных методов расчёта (оригинальные пользовательские функции или встроенные – по умолчанию Рунге-Кутты 4/5 порядка *ode45*); 3. моделирование (библиотека математических методов Simulink, реализующие выполнение операций в виде блоков – визуальное математическое моделирование).

Корректность результатов подтверждается соответствием аналитическому решению и идентичностью итоговых зависимостей. Можно сделать следующие выводы: 1. Символьное (аналитическое) решение является наиболее простым, но может быть получено не для каждого ДУ, а вид результата несколько отличается от привычного. Кроме того, конкретная реализация зависит от релиза Matlab (версия программы). 2. Решение ДУ стандартной функцией рекомендуется для образовательного процесса при изучении дисциплин, реализующих компетенции информатики. 3. Математическое моделирование на основе Simulink является наиболее гибким решением, оптимально подходящим для организации лабораторного практикума и решения отдельных прикладных задач.

**СЕКЦИЯ КИБЕРНЕТИКИ, АВТОМАТИЗАЦИИ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ,  
МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

УДК 681.5

*Кожухов К.Р., Кочергин А.Н., Лопатин А.Г., Брыков Б.А.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

**О ПРИМЕНЕНИИ НЕЧЕТКО-ЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В  
СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ С ПРЕДИКТОРОМ СМИТА**

Задачи регулирования температуры и уровня усложняются тем, что объект регулирования обладает большой инерционностью по каналу управления, а модель объекта – выраженным транспортным запаздыванием. Для улучшения качества регулирования в таком случае целесообразно применить предиктор Смита, основанный на использовании модели объекта с учетом и без учета запаздывания.

Проблема применения предиктора Смита заключается в получении модели объекта ввиду нестационарности режимов его протекания – зачастую в процессе наблюдается действие внутренних возмущений, существенно влияющих на параметры модели объекта.

В этой связи, интересен вопрос применения нечетко-логических систем (НЛС) в работе системы управления для повышения степени адаптивности и робастности системы.

Возможны следующие варианты интеграции НЛС с предиктором Смита:

1) Нечёткий ПИД-подобный регулятор: нечёткий контроллер напрямую управляет объектом через предиктор Смита;

2) Нечёткая настройка параметров ПИД-регулятора (самонастраивающийся ПИД регулятор или супервизор): нечёткая система динамически корректирует коэффициенты  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ;

3) Нечёткий блок оценки параметров запаздывания: анализирует ошибки предсказания для нескольких моделей с разным временем запаздывания.

Комбинация нечёткого регулятора и предиктора Смита обеспечивает: устойчивость при переменной задержке за счёт адаптации нечёткой логики; адаптивность к изменениям динамики объекта через обновление базы правил; снижение перерегулирования за счёт гибких правил нечёткого вывода; робастность к неточностям модели — ошибки моделирования компенсируются логикой регулятора; улучшение качества переходных процессов по сравнению с классическим предиктором Смита.

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RS-ТРИГГЕРОВ В ХИМИЧЕСКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

RS-триггеры –устройство с двумя выходами: один из них называется прямым, а другой — инверсным. Состояние триггера не изменяется в интервале между переключающими сигналами, то есть триггер "запоминает" поступление сигналов и отображает его значением потенциала на выходе. Это позволяет использовать его в качестве элемента памяти. Память триггеров сохраняется исключительно при непрерывном поступлении напряжения: если питание выключить, а затем включить снова, устройство перейдёт в случайное состояние.

В этой связи при проектировании схемы важно предусмотреть метод, с помощью которого триггер будет изначально введён в правильное положение.

Ещё одной характерной особенностью этих устройств является возможность мгновенного перехода из одного состояния в другое сразу после получения соответствующей команды, причём задержка перехода настолько мала, что в инженерных расчётах ею можно пренебречь.

В химической промышленности есть необходимость контролировать множество параметров: температура, уровень, давление, а также многие другие переменные.

Для этого оптимальнее всего в контуре управления ввести RS-триггера, из-за их способности запоминать значение, которые не изменить последующим сигналом, если это не предусмотрено логикой работы.

Также в химической технологии присутствуют дискретные и циклические операции, которые можно реализовать через RS-триггеры, с помощью которых можно получить функцию гистерезиса.

Система переводит триггер в состояние "Включено" при достижении одного порогового значения параметра и возвращает в состояние "Выключено" только при достижении другого порогового значения

Использование RS-триггеров позволят улучшить безопасность технологической линии.

Способность RS-триггеров сохранять состояние позволят избежать случайных срабатываний при кратковременной помехе сигнала, а также поможет исключить ошибку в работе автоматики или оператора, что обуславливает актуальность их исследования.

*Дробот Д.А.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)  
**VR-ДВОЙНИКИ ОБОРУДОВАНИЯ И ОБЪЕКТОВ  
ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ  
ПЕРСОНАЛА**

На химических предприятиях подготовка персонала к пуску после ремонта, переключениям потоков, обходам, операциям технического обслуживания и действиям при нештатных ситуациях до сих пор часто строится либо на непосредственной работе с действующим объектом, либо на фрагментарных тренажерных сценариях. Такой подход неудобен для персонала: реальное оборудование плохо подходит для безопасной отработки ошибок, а обычные 2D-схемы не дают целостного представления о пространственной конфигурации аппаратов, трубопроводов, арматуры, площадок обслуживания и взаимосвязей между производственными объектами. В результате обучение часто проходит неэффективно и в условиях дефицита времени и повышенного производственного риска. Актуальной становится задача переноса в химическую промышленность решений, уже проверенных в смежных отраслях, где применяются цифровые двойники на базе технологий VR. Для химического предприятия такая модель должна объединять геометрию оборудования и объектов, основные параметры технологического процесса, маршруты обходов, эксплуатационные ограничения и типовые сценарии отказов. При этом цифровая модель должна быть связана не только с конструкцией объекта, но и с регламентами безопасной эксплуатации. Это позволяет использовать виртуальное пространство как единый инструмент подготовки персонала.

Предлагаемое решение состоит в создании VR-двойника типовых объектов предприятия, связанных с моделью процесса, эксплуатационной документацией и сценариями технического обслуживания. В данной модели целесообразно реализовать несколько режимов: навигацию по объекту, интерактивную разборку и сборку оборудования, тренажер пуска и остановки, а также сценарии аварийно-нештатных отклонений для разных категорий персонала. Оценка подготовки должна учитывать не только правильность действий, но и время реакции, соблюдение последовательности операций. На следующем этапе VR-модель может использоваться для накопления библиотеки учебных сценариев и типичных ошибок персонала, а также для предварительной организации технических решений перед их реализацией на действующее производство.

*Дробот Д.А.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

На химических предприятиях визуальный контроль состояния оборудования и производственной инфраструктуры по-прежнему во многом строится на обходах и последующей экспертной оценке снимков. Такой подход позволяет обнаруживать уже выраженные повреждения, однако плохо работает с ранними и слабоформализуемыми признаками неисправностей: подтеками у фланцев, локальным изменением окраски металла, следами перегрева, деформацией теплоизоляции, загрязнением смотровых элементов, нетипичным положением арматуры и нарушением состояния опорных конструкций. Кроме того, результат сильно зависит от опыта конкретного специалиста и полноты осмотра.

В различных отраслях промышленности активно развиваются методы компьютерного зрения, основанные на самообучении и обучении без учителя, которым не требуется большой архив заранее размеченных дефектов.

Для химической промышленности перенос таких подходов особенно актуален, поскольку реальные аварийные и предаварийные изображения редки, неоднородны и плохо поддаются ручной классификации. В этих условиях целесообразно обучать систему на массивах нормальных изображений, полученных при регламентных обходах, а отклонения выявлять как визуальные аномалии. Такой подход позволяет фиксировать не только известные, но и нетипичные изменения внешнего состояния объектов.

Предлагается: формирование эталонного банка изображений с нескольких ракурсов, привязка кадров к месту съемки и режиму процесса, а затем обучение модели поиска отклонений без жесткой фиксации перечня дефектов. На уровне предприятия такая система должна работать как интеллектуальная надстройка к обходам: автоматически ранжировать подозрительные зоны, формировать карту отклонений и пополнять библиотеку подтвержденных случаев.

Дополнительно важно обеспечить сопоставимость условий съемки при повторных обследованиях, а также привязку результатов анализа к конкретным узлам и маршрутам обхода. Это позволит перейти от реактивного визуального контроля к раннему обнаружению нетипичных состояний оборудования и производственной среды.

*Дробот Д.А.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

## **УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ВОЛНЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

В химической промышленности значительная часть опасных дефектов развивается в зонах, неудобных для регулярного контроля: под теплоизоляцией, на протяженных трубопроводах, в оболочках аппаратов, на переходах диаметров и в местах крепления. Традиционный неразрушающий контроль в таких случаях нередко требует остановки участка, вскрытия изоляции и локального доступа к каждой подозрительной точке, что увеличивает затраты и снижает периодичность наблюдений. В результате предприятие получает лишь периодические данные о состоянии объекта.

Для решения подобных задач в промышленности применяют направленные ультразвуковые волны и сети постоянно установленных пьезоэлектрических преобразователей, позволяющие отслеживать изменение отклика конструкции во времени. Для химической отрасли актуален перенос этой практики от разового обследования к непрерывному контролю технического состояния критически важных объектов.

Особую ценность такой подход представляет там, где скрытая коррозия, локальное утонение стенки или механическое повреждение длительное время не проявляются внешне, но в дальнейшем приводят к потере герметичности и внеплановым остановкам. Наблюдение за динамикой сигнала повышает информативность диагностики.

Решение этой задачи предполагает выбор типовых объектов, на которых классический контроль наиболее трудоемок, и размещение сети накладных пьезодатчиков, работающих в режиме периодического опроса. Для обеспечения достоверности мониторинга необходимо учитывать влияние температуры на волновой отклик, организовать самодиагностику преобразователей и хранение базовых сигналов для различных технологических режимов.

Перспективным является вынос первичной обработки на локальный узел, формирующий интегральный показатель поврежденности и передающий его в систему технической диагностики предприятия. Это позволит превратить контроль скрытых дефектов из эпизодической процедуры в постоянный канал раннего предупреждения и сделать контроль более адресным, а ремонтные решения - более обоснованными.

*Дробот Д.А.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

**БЕСПИЛОТНЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Инспекция эстакад, факельных линий, резервуаров, складских площадок и протяженных трубопроводов в хим. промышленности по-прежнему связана с работой на высоте, организацией сложного доступа и риском неполного охвата объекта. При наземном обследовании часть дефектов выявляется поздно, особенно тепловых аномалий, скрытых утечек и изменениях состояния удаленных или труднодоступных участков. Дополнительным ограничением остается зависимость результатов от человеческого фактора и сложности повторного прохождения одинаковых маршрутов наблюдения. В сфере технической диагностики быстро развиваются беспилотные методы, сочетающие обычную съемку, тепловизионный контроль, оптико-газовую визуализацию и лазерные средства дистанционного обнаружения выбросов. Для хим. промышленности перенос этой практики представляет особый интерес, поскольку одна беспилотная платформа способна за один вылет дать визуальную, тепловую и газоаналитическую картину состояния объекта. Это расширяет возможности контроля не только отдельных узлов, но и значительных участков производственной территории. Преимуществом является повторяемость маршрутов наблюдения и получение сопоставимых данных при регулярных обследованиях.

Техническое решение обозначенной проблемы заключается в синтезе двухконтурной системы мониторинга. Первый контур включает регулярные автономные облеты критичных зон по фиксированным маршрутам с получением визуальных и тепловых данных. Второй контур предусматривает целевые вылеты со специализированными газоаналитическими сенсорами после сигнала о возможной утечке или по результатам анализа накопленных трендов. Для практического внедрения необходимо обеспечить географическую привязку дефектов, связь полетных заданий с паспортами объектов и автоматическое формирование карт тепловых аномалий и утечек. Дополнительно требуется единый архив полетных материалов, позволяющий сравнивать результаты разных инспекций. Такой подход способен сделать дистанционный контроль регулярным инструментом производственной безопасности без влияния человеческого фактора на выявление неисправностей и повысить полноту обследований.

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)  
**ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ: КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИНЦИП  
ДЕЙСТВИЯ**

Датчики давления — ключевой элемент систем автоматизации в промышленности, энергетике, медицине и транспорте. Правильный выбор типа датчика напрямую влияет на точность измерений, надёжность системы и экономическую эффективность проекта. Важно понимать особенности различных технологий измерения давления.

Основные типы датчиков давления:

1. Тензорезистивные (МЭМС): деформация мембраны - изменение сопротивления тензорезисторов (мост Уитстона), низкая цена, высокая точность.

2. Пьезоэлектрические: прямой пьезоэффект (кварц, керамика) - генерация заряда при деформации. Применяются только для *динамических* измерений (пульсации, ударные волны). Не работают на постоянном давлении.

3. Ёмкостные. Изменение зазора между обкладками конденсатора (мембрана и электрод) - изменение ёмкости. Обладают высокой чувствительностью, работают при низких давлениях.

Критерии выбора датчиков давления:

Диапазон измерения: от вакуума (10–31 Па) до сверхвысоких давлений (>1000 бар).

Выходной сигнал:

- аналоговый: 4–20 мА (токовая петля) — помехозащищённый для длинных линий.

- цифровой: RS-485 (Modbus), HART.

Погрешность (Класс точности): от  $\pm 0,05\%$  (эталонные) до  $\pm 1,5\%$  (общепромышленные). Среда: агрессивность, температура (компенсация температурного дрейфа обязательна).

Области применения датчиков давления: промышленность, автомобилестроение, медицина, бытовая техника.

Тензорезистивные датчики оптимальны для большинства статических измерений благодаря соотношению цены и точности. Пьезоэлектрические незаменимы для регистрации быстропротекающих процессов. Ёмкостные обеспечивают максимальную точность при малых давлениях. Комплексный учёт критериев выбора позволяет повысить надёжность систем автоматизации и снизить затраты на их обслуживание.

**ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ: КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ**

Контроль температуры критически важен в большинстве технологических процессов. Правильный выбор датчика температуры напрямую влияет на точность управления, энергоэффективность и надёжность системы. Важно учитывать совместимость датчиков с цифровыми интерфейсами и их устойчивость к внешним воздействиям.

Основные типы датчиков температуры по принципу работы:

1. Термопреобразователи сопротивления (ТС). Изменение сопротивления металла (Pt, Cu) при нагреве. Высокая точность, стабильность, широкий диапазон (-200...+850°C). Платина (Pt100, Pt1000) — стандарт.

2. Термоэлектрические преобразователи (ТЭП, термопары). Эффект Зеебека: разность потенциалов на спае разнородных металлов. Широкий диапазон (-200...+1800°C), высокая надёжность, не требуют внешнего питания.

3. Полупроводниковые (диодные, IC-сенсоры). Зависимость p-n перехода от температуры. Низкая стоимость, линейность, интеграция с цифровыми интерфейсами (I<sup>2</sup>C, 1-Wire), диапазон -55...+150°C.

4. Пирометры (бесконтактные). Измерение интенсивности ИК-излучения. Измерение движущихся объектов, высоких температур (>3000°C), без контакта со средой.

Параметры выбора датчиков температуры показаны в таблице.

Таблица – критерии выбора датчиков температуры

Параметр	Характеристика
Диапазон	От -273°C (криогеника) до >3000°C (пирометрия)
Точность	Класс А ( $\pm 0,15^\circ\text{C}$ ) у ТС; $\pm 1-2^\circ\text{C}$ у термопар; $\pm 0,5^\circ\text{C}$ у полупроводниковых
Выходной сигнал	Аналоговый (4–20 мА), цифровой (RS-485, Modbus, I <sup>2</sup> C)
Эксплуатация	Агрессивная среда, вибрация, электромагнитные помехи

Термопреобразователи сопротивления оптимальны для точных измерений в умеренном диапазоне температур. Термопары незаменимы в агрессивных средах и при высоких температурах. Полупроводниковые датчики подходят для массовых цифровых систем. Пирометры — единственное решение для бесконтактного контроля. Комплексный учёт критериев выбора позволяет повысить надёжность систем автоматизации и снизить затраты на их обслуживание.

**ПРЕДИКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ**

Предиктивное управление на основе моделей (Model Predictive Control, MPC) — метод оптимального управления, при котором расчётные сигналы минимизируют функцию стоимости для ограниченной динамической системы на конечном горизонте прогнозирования. На каждом шаге контроллер MPC получает или оценивает текущее состояние модели. На основе этой оценки формируется последовательность управляющих воздействий, минимизирующая функцию стоимости на заданном горизонте. Для этого решается задача оптимизации с учётом ограничений, используя внутреннюю модель объекта и текущее состояние системы.

Одна из проблем классического MPC заключается в том, что объект управления (ОУ) часто может быть точно аппроксимирован и линеаризован только в окрестности выбранной рабочей точки. Такой подход не всегда адекватно отражает свойства модели, особенно при значительных отклонениях от рабочей точки.

Решением может стать применение адаптивного MPC — при условии, что порядок и задержка объекта остаются неизменными в течение всего времени работы. В этом случае контроллер MPC проектируется для наиболее вероятных условий работы системы; на базе этого проекта реализуется адаптивный контроллер.

Альтернативный подход — проектирование MPC-контроллера для начальной рабочей точки с последующим обновлением модели прогноза на каждом временном шаге в процессе управления. Алгоритм работает следующим образом.

Модель прогноза обновляется с учётом текущих данных. Если обновлённая модель и условия остаются стабильными на горизонте предсказания, выполняется управление по первому шагу внутри горизонта прогнозирования. Затем модель ОУ заменяется на следующий участок линеаризованной модели нелинейного объекта. Цикл повторяется на протяжении всего процесса управления.

Этот метод концептуально прост, а с развитием вычислительной техники его реализация стала значительно доступнее. Перспективным направлением является обучение контроллера для работы с конкретным объектом управления.

Таким образом, контроллер будет изучать ОУ и работать по принципу «чем дольше, тем лучше», на основе статистических данных.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК НА  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Современное развитие атомной промышленности невозможно без интеллектуальных систем автоматического управления. С помощью технических средств автоматизации собираются такие данные, как: температура, давление, уровень радиации, вибрация оборудования; системы автоматического управления мгновенно реагируют на малейшие отклонения. Оперативное реагирование АСУ на отклонения от штатных режимов функционирования существенно повышает уровень безопасности эксплуатации ядерных установок и минимизирует риски развития аварийных ситуаций.

Цель исследования — обосновать эффективность комплексных решений по автоматизации ядерных установок на промышленных предприятиях как фактора повышения безопасности и технологической независимости атомной энергетики.

В российской практике применяются комплексные решения на базе отечественного и зарубежного оборудования, включающие технологии цифровых двойников — виртуальных моделей реакторов.

Алгоритмы машинного обучения анализируют историю работы оборудования и заранее предупреждают о возможных поломках, а роботы берут на себя осмотр труб, замеры и мелкий ремонт в зонах с высокой радиацией, снижая нагрузку на персонал. Искусственный интеллект используется строго регламентировано: ИИ помогает анализировать данные и строить прогнозы, но окончательное решение остаётся за человеком или за проверенной автоматикой, а любая модель обязательно имеет простой и надёжный запасной вариант на случай сбоя.

Все решения проходят многоуровневую проверку по стандартам МАГАТЭ и национальных регуляторов. Эти решения уже работают на реакторах ВВЭР и предприятиях ядерно-топливного цикла.

До 2030 года планируется:

- интеграция объектов к единой цифровой платформе,
- настройка автономную работу в штатных режимах
- согласование правил киберзащиты с партнёрами.

Автоматизация — путь к технологической независимости, но безопасное развитие требует баланса: внедрять инновации, сохраняя надёжность и человеческий контроль, и готовить специалистов, разбирающихся в физике реактора, программировании и кибербезопасности.

*Толстиков Д. Д., Сидельников С.И.*  
(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)  
**МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ОТДЕЛЕНИЕМ МЕТИЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА  
АНАЛЬГИНА**

Важное место при решении задач анализа и проектирования систем логического управления (СЛУ) ХТС занимает этап разработки и построения имитационных математических моделей организации функционирования ХТС.

Анализ и характеристика организации периодических производств ХТС позволяет рассматривать их как сложные дискретно-динамические системы. В таких случаях является оправданным создание имитационного образа системы, воспроизводящего ее топологию и функционирование. Построение таких моделей реализуется, как правило, на интуитивном уровне. В [1] предлагается формализовать и автоматизировать процесс создания и анализа таких моделей на основе типовых сетевых моделей в виде РК-сетей.

В докладе рассмотрена методика разработки моделей системы логического управления в виде сети Петри с применением универсального алгоритма, программы автоматизированного построения совокупных сетевых моделей и программы визуальный редактор сетевых моделей.

Методика апробирована при разработке системы логического управления отделением метилирования производства анальгина. Разработка сетевой модели СЛУ отделением метилирования производства анальгина проводилась на основе 1-ого, 2-ого, 5-ого и 23-ого типовых моделей взаимодействия аппаратурных стадий.

Проведённое имитационное моделирование системы логического управления отделением метилирования производства анальгина показало адекватность разработанной СЛУ.

Техническая реализация СЛУ планируется на программируемых реле фирмы Овен. Для этого алгоритм в виде сети Петри реализован на универсальном языке FBD и ST программирования контроллеров.

### *Литература*

1. Модели и алгоритмы логического управления химико-технологическими системами: учебное пособие для вузов / С. И. Сидельников. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2026. 132 с.

(Государственный университет аэрокосмического приборостроения)

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАДИКАЛЬНОЙ  
ПОЛИМЕРИЗАЦИИ СТИРОЛА**

Радикальная полимеризация стирола ( $C_6H_5-CH=CH_2$ ) является фундаментальным процессом промышленного органического синтеза, лежащим в основе производства полистирола и его сополимеров. В отличие от многих виниловых мономеров, стирол демонстрирует ряд уникальных кинетических и технологических особенностей, обусловленных строением его молекулы.

Основной особенностью радикальной полимеризации стирола является ярко выраженное автоускорение реакции полимеризации, которое в литературе получило название гель эффект или эффект Норриша-Троммсдорфа.

По мере протекания полимеризации вязкость реакционной среды резко возрастает из-за накопления высокомолекулярного полимера. Это приводит к существенному замедлению диффузии макрорадикалов, тогда как диффузия мелких молекул мономера страдает в значительно меньшей степени. В результате скорость реакции обрыва цепи (бимолекулярной рекомбинации радикалов) падает, а скорость роста цепи (присоединение мономера) остается практически неизменной. Это вызывает неконтролируемое накопление активных радикалов и, как следствие, резкое ускорение общей скорости полимеризации.

Для стирола этот эффект особенно опасен, так как может привести к так называемому тепловому взрыву – ситуации, когда выделяющееся тепло реакции не успевает отводиться через стенки реактора, что вызывает резкий рост температуры и давления.

Современное понимание особенностей радикальной полимеризации стирола невозможно без развития математических моделей, способных предсказывать конверсию мономера, молекулярные массы и молекулярно-массовое распределение.

Полноценная модель радикальной полимеризации стирола должна включать три диффузионных явления:

Эффект клетки (cage effect) – снижение эффективности инициирования из-за рекомбинации первичных радикалов в мономере.

Гель-эффект (gel effect) – снижение константы обрыва цепи при высоких конверсиях.

Эффект стеклования (glass effect) – падение подвижности радикалов при температурах ниже температуры стеклования системы.

(Государственный университет аэрокосмического приборостроения)

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
ХИМИЧЕСКИМИ РЕАКТОРАМИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО  
ДЕЙСТВИЯ СИНТЕЗА ПОЛИМЕРОВ**

Реактор периодического действия суспензионной полимеризации представляет собой один из наиболее сложных объектов управления в химической технологии. В промышленной автоматизации таких реакторов сложилась трехуровневая иерархия систем управления, каждый уровень которой решает специфические задачи.

Нижний уровень: локальное регулирование и стабилизация.

Этот уровень обеспечивает поддержание заданных технологических переменных в условиях возмущений. Основными контурами являются:

Регулирование температуры реакционной смеси: Как правило, реализуется в виде одноконтурных систем управления.

Регулирование скорости вращения мешалки: Критически важный контур для суспензионной полимеризации, поскольку от числа оборотов зависит размер образующихся гранул полимера и устойчивость суспензии.

Средний уровень: программно-логическое управление.

Периодический характер процесса предполагает строгую последовательность операций: загрузка сырья, нагрев до температуры инициирования, изотермическая выдержка, охлаждение, выгрузка. На этом уровне реализуются:

Временные программы изменения температуры по заданному профилю.

Логика блокировок и защит (например, останов процесса при превышении давления или отказе мешалки).

Верхний уровень: адаптивное, робастное и оптимальное управление.

Это наиболее сложный и наукоемкий класс систем, предназначенный для компенсации нестационарности объекта. Верхний уровень включает:

Адаптивные системы с идентификацией: системы, которые в реальном времени оценивают текущие параметры объекта и пересчитывают коэффициенты регулятора.

Робастные системы: системы, сохраняющие устойчивость и качество регулирования в условиях неопределенности параметров объекта.

**ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ ИНКЛЮЗИВНОГО  
МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ  
НЕСТАБИЛЬНОГО СЕТЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ**

В условиях нестабильной сетевой инфраструктуры агрегаторы социальных услуг регулярно теряют критическую функциональность, что создает существенные барьеры для пользователей с ограниченными возможностями здоровья. Целью исследования выступает разработка архитектуры Local-First, обеспечивающей стабильный доступ к ядру функций цифрового сервиса независимо от качества соединения.

Методологическую основу формирует принцип локального первенства данных, предполагающий полный перенос бизнес-логики на клиентскую сторону. Подобный подход позволяет нивелировать риски потери сессий при взаимодействии с распределенными облачными шлюзами.

Программная реализация механизма базируется на внедрении реляционной СУБД SQLite, дополненной векторным индексом для структурированного хранения медицинских справок и терапевтических чек-листов. Синхронизация измененных состояний осуществляется через стандарт Conflict-free Replicated Data Types, гарантирующий детерминированную сходимость информации без блокирующих транзакций.

Прогнозное кеширование контента реализуется на основе алгоритмического анализа календарных событий, что позволяет заранее подгружать релевантные инструкции. Данные структурируются в формате JSON и записываются асинхронно, сохраняя отзывчивость интерфейса.

Верификация эффективности предложенного решения проводилась в условиях эмуляции сетевых разрывов различной длительности. Ключевыми метриками оценки выступали Offline Task Success Rate, достигающий значений свыше 90%, время разрешения конфликтов слияния и оптимизированный объем локального хранилища. Результаты тестирования подтверждают снижение зависимости клиентского модуля от внешнего канала передачи данных при полном сохранении целостности информации. Внедрение модели гарантирует отказоустойчивость, формируя технологическую базу для устойчивых инклюзивных экосистем...

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПОДВЕДЕНИЯ ИТОГОВ СОРЕВНОВАНИЙ ПО ПЛАВАНИЮ**

АИС разрабатывалась для Детско-юношеской спортивной школы № 1 города Новомосковска. Ежегодно школа проводит десятки внутренних и городских соревнований. Однако текущий процесс их организации опирается на устаревшие методы: заявки собираются через разрозненные Excel-файлы или бумажные списки, а итоговые протоколы сводятся секретарём вручную.

Существующие на рынке системы слишком дороги, обычно плохо подходят для плавания, требуют постоянного доступа в сеть. Поэтому проблема наличия собственной АИС, способной автоматизировать весь цикл от сбора заявок до печати итоговых протоколов, с учетом специфики учреждения является крайне актуальной.

Архитектурно АИС разделена на два взаимодействующих модуля: веб-сайт (публикация соревнований, сбор электронных заявок и их модерации) и настольное приложение (работа секретаря во время соревнования в режиме офлайн).

Серверная часть веб-сайта реализована на языке Python с использованием фреймворка FastAPI, ORM SQLAlchemy и шаблонизатора Jinja2. Настольное приложение разработано на Python с библиотекой PyQt6 и локальной базой SQLite. Секретарь загружает стартовый протокол и работает с ним офлайн. В программе реализованы следующие алгоритмы оперативного управления: если спортсмен не явился, секретарь отмечает его неявку, и система может автоматически «пересобрать» заплывы, уплотнив дорожки для экономии времени турнира. После ввода времени система автоматически ранжирует спортсменов и обрабатывает «ничьи». Для вывода документов используются библиотеки Pandas и ReportLab - система генерирует готовые к печати pdf, xls и HTML протоколы. Также для полноценного управления спортивной школой руководству предоставлены инструменты для анализа статистики. Для чего в веб-часть системы внедрен специализированный аналитический функционал-база готовых шаблонов и конструктор отчётов.

Внедрение АИС позволит уменьшить бумажный документооборот, минимизировать ручной труд и снизить риск судейских ошибок, предоставит возможность проведения аналитики и отчётности.

## **АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ И СВОЕВРЕМЕННОСТИ УВЕДОМЛЕНИЙ О СТАТУСЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЗАЯВЛЕНИЙ В АГРЕГАТОРАХ**

В цифровых агрегаторах государственных услуг наблюдается устойчивая проблема асинхронности и противоречивости статусов, поступающих от различных ведомственных информационных систем. Подобная рассинхронизация провоцирует генерацию ложных оповещений и повышает риск пропуска критических дедлайнов, что формирует избыточную когнитивную нагрузку у пользователей. Целью исследования выступает разработка алгоритмического модуля, обеспечивающего достоверную и своевременную маршрутизацию уведомлений. Методологическую основу формирует архитектурный паттерн Event-Sourcing, дополненный вероятностным моделированием сетевых задержек. Жизненный цикл заявления формализуется посредством конечных автоматов, что гарантирует однозначную интерпретацию переходных состояний.

Программная реализация агрегации статусов осуществляется на базе распределенной шины данных, обрабатывающей входящие события в формате JSON.

Историческая динамика обработки обращений анализируется методом экспоненциального сглаживания, позволяющим прогнозировать временные интервалы обновления реестров. На основе предиктивных оценок функционирует алгоритм интеллектуального группирования пушей. Система автоматически блокирует дублирующие сигналы и формирует сводные дайджесты, соблюдая требования доступности WCAG 2.1. Обеспечена идемпотентность обработчиков и хеширование логов транзакций.

Верификация эффективности проводилась на репрезентативной выборке обращений. Ключевыми индикаторами выступают метрика Status Accuracy (>98%), интегральный Notification Relevance Score и снижение принудительных отписок. Внедрение предиктивного планирования минимизирует явление уведомительной усталости, сохраняя своевременность реакций граждан на изменения в ходе исполнения заявок.

Архитектурный шаблон формирует технологическую базу для инклюзивных платформ, гарантируя баланс информационной прозрачности и психофизиологического комфорта.

**ДИНАМИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА  
МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ  
КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ УСТАЛОСТИ**

Методология динамической адаптации пользовательских интерфейсов, основанная на анализе состояния пользователя и принципах доступности веб-контента, представляет собой структурированный подход к созданию мобильных приложений для людей с хроническими заболеваниями. Этот подход направлен на создание программных продуктов с четкой логической иерархией элементов управления и строгим разделением визуального представления от функциональной логики в зависимости от уровня усталости. Данная методология получила широкое признание и активно используется в современной разработке доступных сервисов. Она помогает инженерам и дизайнерам создавать более гибкие, адаптивные интерфейсы, а также способствует снижению когнитивной нагрузки и обеспечению равного доступа к функционалу для людей с ограниченными возможностями здоровья в периоды обострения. Статичный интерфейс создает избыточную нагрузку, поэтому гипотеза исследования утверждает, что автоматическое упрощение UI снизит время выполнения действий на тридцать процентов. При построении интерфейса в контексте системы «Береги себя» используются CSS-медиазапросы и JS-логика состояния. Контейнеры общего назначения в сочетании с алгоритмами оценки энергии пользователя используются для выделения вторичных элементов и обеспечения их скрытия. Они формируют каркас приложения, позволяя легко манипулировать размером шрифта и их адаптивным поведением. Проводится A/B тестирование интерфейсов для сбора метрик времени на задачу и количества ошибок клика. Используется адаптированная шкала NASA-TLX для оценки субъективной нагрузки. Основной инструмент снижения нагрузки в современных стандартах мобильной разработки - адаптивная верстка. Структура демонстрирует высокую гибкость при интерпретации действий пользователем со сниженной концентрацией. Архитектура фронтенда мобильного приложения при адаптивном подходе строится не на визуальном макете, а на логической структуре доступности пользователя. Для оценки результатов применяется шкала NASA-TLX. Таким образом, главная аксиома утверждает, что текущее состояние здоровья полно и точно определяет приоритеты интерфейса, которые, в свою очередь, определяют логику применения стилей и скрытия элементов. Внедрение позволит минимизировать ручной труд и снизить риск ошибок взаимодействия.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОТОКОЛА  
БЕЗОПАСНОГО ДЕЛЕГИРОВАННОГО ДОСТУПА К  
ПЕРСОНАЛЬНЫМ ДАННЫМ В СОЦИАЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ**

В социальных приложениях, ориентированных на взаимодействие с персональными данными лиц с ограниченными возможностями здоровья, традиционные механизмы совместного использования учетных записей систематически нарушают принципы минимизации информации и не обеспечивают прозрачный аудит действий доверенных лиц. Целью работы выступает проектирование специализированного протокола делегированного доступа, гарантирующего криптографическую безопасность без снижения показателей пользовательского опыта. Методологическую основу формирует расширение спецификации OAuth 2.0, предполагающее внедрение гранулярных, временно-ограниченных скоупов авторизации. Предлагаемая архитектура позволяет динамически регулировать привилегии внешних субъектов, обеспечивая полное соответствие требованиям федерального законодательства 152-ФЗ и международным регуляторным нормам GDPR.

Программная реализация референсного прототипа осуществляется на базе стандарта OpenID Connect с развертыванием изолированного кастомного Authorization Server. Модель делегирования подвергается строгой формальной верификации с применением спецификации TLA+, что позволяет математически доказать отсутствие состояний гонки и устранить потенциальные векторы privilege escalation. Процессы генерации, валидации и отзыва токенов доступа сопровождаются обязательным криптографическим логированием всех транзакций в защищенном журнале аудита. Интеграция с клиентскими интерфейсами реализована через стандартизированные REST API, а обработка запросов оптимизирована посредством асинхронных очередей сообщений, что существенно минимизирует вычислительную нагрузку на серверную инфраструктуру при сохранении высокой пропускной способности. Нагрузочное тестирование подтвердило стабильность работы системы при высокой интенсивности параллельных запросов, при этом среднее значение латентности авторизации не превышает 150 мс. Оценка интерфейса управления правами по методологии SUS демонстрирует высокий уровень эргономичности, что критично для пользователей с когнитивными и моторными нарушениями. Экспериментально доказана полная устойчивость архитектуры к несанкционированному расширению привилегий, а также к попыткам повторного использования истекших или отозванных сессий.

(Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева)  
**ER-ДИАГРАММЫ КАК ИНСТРУМЕНТ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ БАЗ ДАННЫХ**

Методология концептуального проектирования баз данных, основанная на модели «сущность-связь» (ER-модель), предложенная Питером Ченом в 1976 году, представляет собой структурированный подход к описанию предметной области. Этот подход направлен на создание логической схемы базы данных, независимой от конкретной реализации в СУБД, с чётким выделением сущностей, их атрибутов и связей между ними.

Эта методология получила широкое признание и используется в проектировании реляционных, документно-ориентированных и других типов баз данных на протяжении последних нескольких десятилетий. Она помогает аналитикам и разработчикам лучше понимать структуру предметной области, выявлять бизнес-правила и избегать ошибок на ранних этапах создания информационной системы.

При построении концептуальной модели в ER-методологии используются диаграммы сущностей-связей (ER-диаграммы). Эти диаграммы обеспечивают визуальное представление взаимосвязей между различными объектами предметной области, позволяя легко определить границы системы. Они помогают идентифицировать основные сущности, их атрибуты (свойства) и типы связей (1:1, 1:N, M:N).

Основной инструмент концептуального проектирования баз данных – ER-диаграммы, которые демонстрируют высокую гибкость в представлении структур данных, типов атрибутов и ограничений целостности, позволяя иллюстрировать иерархию сущностей, заменять абстрактные понятия на таблицы или коллекции, а на более низких уровнях – на первичные и внешние ключи, что даёт возможность легко адаптировать их для различных уровней детализации – от общей концептуальной схемы до физической модели данных.

Структура базы данных с использованием ER-подхода строится не на физической организации хранения, а на логическом описании предметной области.

Таким образом, главная аксиома концептуального проектирования утверждает: правильно построенная ER-диаграмма полно и точно определяет логическую структуру базы данных, которая, в свою очередь, однозначно задаёт физическую схему и ограничения целостности при реализации в конкретной СУБД.

*Маренков И.В.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева)

## **СЕМАНТИЧЕСКАЯ ВЕРСТКА КАК ОСНОВНОЙ ИНСТРУМЕНТ СТРУКТУРИРОВАНИЯ КОНТЕНТА**

Методология семантической верстки, основанная на стандартах HTML5 и принципах доступности веб-контента, представляет собой структурированный подход к созданию пользовательских интерфейсов веб-сайтов. Этот подход направлен на создание веб-ресурсов с четкой логической иерархией контента и строгим разделением структуры документа от его визуального представления.

Данная методология получила широкое признание и активно используется в современной веб-разработке на протяжении последнего десятилетия.

Она помогает фронтенд-разработчикам и веб-дизайнерам создавать более легковесный, кроссбраузерный код, а также способствует улучшению индексации ресурса поисковыми системами и обеспечению равного доступа к информации для людей с ограниченными возможностями здоровья.

При построении интерфейса в контексте семантической разработки используются теги структурной разметки и стандарт DOM (Document Object Model). Контейнеры общего назначения в сочетании с методологиями именования CSS-классов используются для выделения визуальных компонентов и обеспечения их изолированности. Они формируют каркас страницы, позволяя легко манипулировать расположением блоков и их адаптивным поведением.

Основной инструмент структурирования контента в современных стандартах веб-разработки - семантическая разметка. Семантическая структура демонстрирует высокую гибкость при интерпретации контента поисковыми роботами, скринридерами и браузерами.

Она позволяет заменять визуальное позиционирование на смысловое описание содержимого, а на низких уровнях вложенности определяет значимость заголовков и связность данных. Такая гибкость обеспечивает адаптацию страницы для различных устройств без потери смысловой целостности.

Архитектура фронтенда веб-сайта при семантическом подходе строится не на визуальном макете, а на логической структуре данных. Таким образом, главная аксиома утверждает, что смысловое содержание полно и точно определяет структуру HTML-документа, которая, в свою очередь, определяет логику применения каскадных стилей.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ PWA И НАТИВНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ МОТОРИКИ**

В рамках развития цифровой инфраструктуры проекта «Береги себя» актуализируется задача обеспечения доступа к медицинским сервисам для лиц с моторными нарушениями. Традиционные нативные решения требуют установки из магазинов приложений, что формирует технический барьер. В качестве альтернативы рассматривается архитектура прогрессивных веб-приложений, позволяющая использовать интерфейсы с функциональностью, сопоставимой с клиент-серверными программами.

Гипотеза предполагает эквивалентную отзывчивость современных веб-решений при сниженном пороге входа. Методология включает оценку задержек пользовательского ввода и скорости инициализации сессий на мобильных устройствах среднего сегмента.

Техническая реализация анализа строится на автоматизированном сборе метрик производительности. Для измерения латентности сенсорного ввода применяются стандарты веб-платформы, фиксирующие показатели First Input Delay и Time to Interactive.

Бенчмаркинг проводится на идентичных конфигурациях с эмуляцией ограничений сети. Нативные аналоги разрабатываются на кроссплатформенном фреймворке, веб-решение базируется на стеке JavaScript и HTML5 с применением Service Workers для кэширования. Модули верифицируются на соответствие рекомендациям WCAG 2.1 уровня AA.

Экспериментальные данные подтверждают, что расхождение в задержке отклика не превышает 50 мс. Порог входа в веб-архитектуру снижается за счет прямой установки из браузера. Ключевым преимуществом признается платформенная независимость и возможность дистанционного обновления кода.

Данный подход оптимизирует разработку социальных IT-систем, обеспечивая надежность мониторинга хронических заболеваний. Установленные метрики подтверждают целесообразность внедрения веб-технологий в экосистему цифрового здравоохранения.

Полученные результаты могут применяться при проектировании интерфейсов с учетом эргономических требований целевой аудитории.

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ВАЛИДАЦИЯ ДОСТУПНОСТИ  
ИНТЕРФЕЙСОВ НА СООТВЕТСТВИЕ СТАНДАРТУ WCAG 2.1 AA  
В CI/CD**

В рамках реализации цифровой экосистемы для людей с ОВЗ обеспечение инклюзивности пользовательских интерфейсов выступает критическим требованием к программным продуктам. Традиционные методики верификации доступности носят ручной характер, характеризуются высокой трудоемкостью и часто игнорируются на стадиях проектирования архитектуры. Интеграция специализированных линтеров в конвейер непрерывной интеграции позволяет минимизировать количество дефектов доступности до этапа публичного релиза. Методологическая база исследования включает сравнительный анализ показателей, где индикаторами выступают количество нарушений на единицу экранной формы и совокупные временные затраты на устранение отклонений.

Техническая реализация автоматизированного контроля базируется на внедрении библиотеки axe-core в инфраструктуру GitHub Actions. Конфигурационный скрипт YAML инициирует аудит DOM-дерева компонентов при формировании pull-request. Алгоритм валидации сопоставляет верстку с нормативами ГОСТ Р 52872-2019 и рекомендациями WCAG 2.1 уровня AA, выявляя нарушения контрастности, логической навигации и управления фокусом клавиатуры. Блокировка слияния кодовой ветки при ошибках критического уровня гарантирует соблюдение стандартов на этапе разработки.

Экспериментальная апробация демонстрирует снижение количества дефектов доступности на 75% по сравнению с традиционным ручным тестированием. Среднее время на исправление критических нарушений сокращается за счет точной локализации проблем непосредственно в коммитах разработчиков. Предложенная конфигурация конвейера формирует устойчивый механизм обеспечения соответствия кодовой базы нормативным требованиям без увеличения накладных расходов на рефакторинг.

Внедрение автоматизированной валидации в практику создания социальных IT-проектов способствует формированию доступной цифровой среды для лиц с ограниченными возможностями здоровья. Полученные архитектурные решения могут масштабироваться для обеспечения стандартизации разработки интерфейсов медицинского мониторинга.

(Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева)  
**АЛГОРИТМ ПРИОРИТИЗАЦИИ УВЕДОМЛЕНИЙ ДЛЯ  
ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ТРЕВОЖНОСТИ  
У СТУДЕНТОВ С ОВЗ**

В условиях интенсивной цифровой среды наблюдается устойчивая корреляция между избыточным потоком системных оповещений и повышением когнитивной нагрузки у лиц с ограниченными возможностями здоровья. Целью работы выступает разработка алгоритма интеллектуальной фильтрации пуш-уведомлений, направленного на минимизацию цифрового стресса без снижения доступности сервиса. Методологическую основу формирует модель «бережливых уведомлений», предполагающая динамическую классификацию сообщений по степени критичности. Доставка данных планируется с учетом физиологических ритмов пользователя и исторических паттернов взаимодействия.

Программная реализация осуществляется на клиент-серверной архитектуре с асинхронной обработкой очередей. Ядро фильтрации функционирует на основе эвристического скоринга, где оповещению присваивается весовой коэффициент согласно стандарту WCAG 2.1. Интеграция модуля состояния «Режим отдыха» выполнена через нативные API платформ, обеспечивая подавление звуковых и тактильных триггеров в заданные интервалы. Метаданные обрабатываются в формате JSON, конфигурации сохраняются в СУБД SQLite с применением шифрования. Автоматность алгоритма гарантируется при отсутствии стабильного соединения.

Верификация эффективности проводится на основе непрерывного сбора телеметрических данных для последующего статистического анализа. Ключевыми индикаторами выступают метрики retention, частота активных сессий и доля отключенных каналов коммуникации. Модель автоматически адаптирует пороговые значения чувствительности на основе ретроспективных логов взаимодействия. Внедрение системы позволяет существенно сократить объем прерывающих задач на интерфейсе, сохраняя своевременность доставки критических академических напоминаний.

Главная особенность заключается в балансировке информационной насыщенности и психофизиологического комфорта пользователя. Архитектурный подход успешно масштабируется на различные категории инклюзивных цифровых платформ, формируя технологический стандарт безопасного UX..

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЛЯЦИОННОЙ  
СХЕМЫ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕТА В  
СЕТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБЩЕПИТА**

В условиях фрагментированного хранения коммерческих данных традиционные табличные редакторы не обеспечивают целостности информации при одновременном учете товародвижения, продаж и кадрового состава на нескольких объектах. Целью работы выступает проектирование реляционной архитектуры информационной системы, исключающей избыточность данных и гарантирующей точность финансовой отчетности.

Методологическую основу формирует процесс нормализации до третьей нормальной формы, предполагающий выделение независимых сущностей и формализацию связей через внешние ключи. Подобный подход позволяет устранить аномалии модификации и обеспечить детерминированность состояния системы при параллельных транзакциях.

Программная реализация осуществляется в среде СУБД PostgreSQL с применением декларативных ограничений и триггерных механизмов. Историзация цен продажи обеспечивается хранением значения в строке транзакции, что исключает ретроспективное искажение выручки при изменении прайс-листа.

Контроль складских остатков реализован через триггеры уровня AFTER, автоматически списывающие компоненты согласно рецептурным картам. Индексация полей временного типа и внешних ключей оптимизирует выполнение агрегирующих запросов. Разграничение доступа конфигурируется на уровне ролевой модели.

Верификация схемы проводилась посредством тестирования репрезентативной выборки транзакций. Ключевыми индикаторами эффективности выступают время отклика аналитических представлений, отсутствие ссылочных разрывов и точность расчета себестоимости. Внедрение предложенной архитектуры минимизирует риски потери данных при сетевых разрывах за счет предварительной валидации.

Главный научный вклад заключается в создании шаблона проектирования учетных систем, балансирующего требования ссылочной целостности и производительности при генерации кросс-табличных отчетов.

*Филаткин Д.В., Фламель П.А., Медведев С.В.*  
(Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева)

## **ИНЖЕНЕРНО-МЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИНКЛЮЗИВНЫХ МОБИЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ НА УСТРОЙСТВАХ НАЧАЛЬНОГО УРОВНЯ**

В современных мобильных экосистемах интеграция функций цифровой доступности систематически сопровождается увеличением потребления вычислительных ресурсов, что критически снижает качество пользовательского опыта на бюджетных устройствах. Целью исследования выступает комплексная оценка влияния инклюзивных компонентов интерфейса на аппаратную конфигурацию смартфонов начального уровня. Методологическую основу формирует многоуровневое профилирование центрального и графического процессоров, оперативной памяти, а также динамики энергопотребления. Формулируется научная гипотеза о том, что адаптивное применение ленивой загрузки графических ассетов и квантования предобученных моделей позволит сохранить строгое соответствие требованиям стандарта WCAG без существенной деградации отзывчивости системы.

Программная реализация механизмов оптимизации базируется на внедрении алгоритмов INT8-квантования нейросетевых архитектур, обеспечивающих снижение вычислительной нагрузки при распознавании голосовых команд и жестов. Динамическая отрисовка элементов осуществляется посредством асинхронного стриминга UI-компонентов, что исключает единовременное выделение больших блоков памяти в куче. Фоновые анимации и ресурсоемкие графические эффекты программно отключаются на уровне рендеринга при обнаружении жестких аппаратных ограничений. Сбор системной телеметрии производится специализированными профайлерами, непрерывно фиксирующими частоту кадров, пиковое потребление ОЗУ и тепловую карту энергозатрат.

Верификация предложенного архитектурного подхода проводилась на контрольных образцах мобильных устройств с объемом оперативной памяти, ограниченным 3 ГБ. Результаты экспериментального тестирования подтверждают достижение установленных целевых метрик: средняя частота обновления интерфейса стабилизируется на отметке свыше 55 FPS, пиковое потребление памяти не превышает 800 МБ, а степень деградации аккумуляторной батареи остается в пределах нормативных значений. Автоматизированный аудит стабильно сохраняет WCAG-скоринг на уровне, гарантирующем полноценную навигацию. Сформированный набор инженерных практик формирует воспроизводимый бенчмарк-профиль для разработки устойчивых инклюзивных платформ.

**КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕНЦИЙ В  
ДИАЛОГОВЫХ СИСТЕМАХ СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАЛОРЕСУРСНЫХ ДОМЕННЫХ  
ДАННЫХ**

В диалоговых системах социальной сферы наблюдается устойчивое снижение точности маршрутизации запросов вследствие неформального, эмоционального или семантически размытого формулирования пользователями своих потребностей. Целью исследования выступает разработка методики классификации пользовательских интенций, адаптированной для работы в условиях дефицита размеченных корпусов. Методологическую основу формирует иерархическая таксономия запросов, структурирующая обращения по ключевым направлениям: льготы, документооборот, статусные категории и программы реабилитации. Подобная онтология позволяет минимизировать потери смысла при первичной обработке естественного языка.

Программная реализация маршрутизатора базируется на извлечении семантических эмбедингов с применением архитектуры SentenceTransformers. Векторные представления агрегируются и подвергаются кластеризации алгоритмом HDBSCAN, что обеспечивает автоматическое выделение латентных смысловых групп без явного супервизорного обучения. На основе сформированных кластеров осуществляется few-shot fine-tuning легковесной языковой модели, оптимизированной для edge-вычислений. Инференс выполняется локально с применением асинхронных REST-вызовов, что гарантирует строгое соблюдение стандартов информационной безопасности при обработке персональных данных граждан с ОВЗ и хроническими заболеваниями. Верификация предложенной архитектуры проводилась на ограниченном доменном датасете, отражающем реальные сценарии взаимодействия с государственными сервисами. Ключевыми индикаторами эффективности выступают метрика Intent Accuracy, превышающая 85%, показатель Fallback Rate и средняя задержка inference. Внедрение гибридной схемы анализа снижает потребность в ручной разметке десятков тысяч примеров, обеспечивая устойчивость классификатора к лингвистическим вариациям. Архитектурный шаблон формирует технологическую основу для создания доступных NLP-решений, функционирование которых не зависит от масштаба обучающей выборки.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАСТРОЕК ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ НА КАЧЕСТВО РАБОТЫ ЭСАР

Одним из этапов синтеза энергосберегающей системы автоматического регулирования (ЭСАР) является выбор и расчет настроек полосовых фильтров. Чтобы определить настройки фильтра, предварительно находится пороговая частота  $\omega_0$ , разделяющая частотные свойства каналов управления. Данная частота находится в результате решения следующей оптимизационной задачи:

$$I = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{|W_f(j\omega)|^2 d\omega}{\omega^2 |1 + W_1(j\omega)R_1(j\omega)\Phi_1(j\omega) + W_2(j\omega)R_2(j\omega)\Phi_2(j\omega)|^2} \rightarrow \min,$$

где  $W_1(j\omega)$ ,  $W_2(j\omega)$  – частотные передаточные функции по динамическому и энергоэффективному каналам управления;  $R_1(j\omega)$ ,  $R_2(j\omega)$  – частотные передаточные функции регуляторов соответствующих каналов управления;  $\Phi_1(j\omega)$ ,  $\Phi_2(j\omega)$  – частотные передаточные функции высокочастотного и низкочастотного фильтров.

При расчете пороговой частоты делается допущение об идеальности полосовых фильтров, в результате чего частотные передаточные функции фильтров имеют вид:

$$\Phi_1(j\omega) = \begin{cases} 0, & \text{если } \omega \leq \omega_0 \\ 1, & \text{если } \omega > \omega_0 \end{cases} \quad \text{и} \quad \Phi_2(j\omega) = \begin{cases} 1, & \text{если } \omega \leq \omega_0 \\ 0, & \text{если } \omega > \omega_0 \end{cases},$$

В тоже время частотная передаточная функция реального фильтра существенно отличается от передаточной функции идеального фильтра. Так, например, частотная передаточная функция фильтра высоких частот может иметь вид:  $\Phi_1(j\omega) = \tilde{T}_0 j\omega / (\tilde{T}_0 j\omega + 1)$ , а фильтра низких частот:  $\Phi_2(j\omega) = 1 / (\tilde{T}_0 j\omega + 1)$ , где  $T_0$ ,  $\tilde{T}_0$  – настроечные параметры фильтров. В результате решение оптимизационной задачи следует скорректировать с учетом вида передаточной функции реального фильтра. Возможный подход к решению соответствующей задачи может быть следующим. Принимая за основу значение пороговой частоты равной  $\omega_0$ , изменяем ее в большую или меньшую сторону, перерасчитываем настройки фильтров и рассчитываем новое значение критерия оптимальности. Соответствующие расчеты удобно выполнять с использованием пакета MathCad. Описанные выше шаги выполняем до тех пор, пока не будет получен наилучший результат.

**МЕТОДЫ РАСЧЕТА НАСТРОЕК РЕГУЛЯТОРОВ В ЭСАР**

Энергосберегающие системы автоматического регулирования (ЭСАР) обеспечивают высокое качество регулирования в динамических режимах и минимизируют затраты энергии на поддержании заданного значения технологической величины в статическом режиме.

Структура ЭСАР включает в себя несколько контуров регулирования, содержащих типовые регуляторы, и полосовые фильтры, разделяющие частотные свойства соответствующих контуров. Наличие полосовых фильтров позволяет сделать допущение о независимой работе того или иного контура регулирования в соответствующем диапазоне частот и тем самым выполнять расчет настроек регуляторов по отдельности, т.е. каждый регулятор настраивается по своему контуру регулирования, содержащей объект с известной передаточной функцией.

Следовательно, можно использовать любой известный метод расчета настроек регуляторов одноконтурной САР. Среди таких методов можно выделить: метод Копеловича, метод расширенных частотных характеристик, методы обычных и суженных кривых Д-разбиения. При этом следует отметить, что в динамически эффективном контуре регулирования можно использовать П- или ПИ-регулятор, а в энергоэффективном – ПИ-регулятор.

В то же время ввиду неидеальности полосовых фильтров исключить полностью влияние одного контура регулирования на другой невозможно. Поэтому после расчета параметров полосовых фильтров можно произвести уточняющий расчет настроек регуляторов.

Кроме того, возможна структура ЭСАР, когда полосовые фильтры отсутствуют, например, если инерционности каналов регулирования существенно различаются.

Тогда, рассчитав вначале настройки регулятора динамически эффективного контура, определяется передаточная функция эквивалентного объекта для регулятора энергоэффективного контура в соответствии с формулой:

$$W(s) = \frac{W_2(s)}{1 + W_1(s)R_1(s)},$$

где  $W_1(s)$ ,  $W_2(s)$  – передаточные функции объекта по-динамически и энергоэффективному каналам управления,  $R_1(s)$  – передаточная функция регулятора динамически эффективного контура управления.

УДК 519.6(075.8)

*Бездомников А.В., Голованова П.Д.*  
(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)  
**КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ**

В настоящее время существует три основных класса методов оптимизации. Методы, основанные на применении классических математических вычислений, делятся на непосредственные и направленные.

В непосредственных методах оптимальная точка получается в результате решения систем уравнений, которые получаются при вычислении частных производных целевой функции и приравнивания их к нулю.

Направленные методы основаны на анализе точек в области допустимых решений, причем переход от одной точки к другой осуществляется в направлении градиента целевой функции. Эти методы применимы только в случае гладких дифференцируемых целевых функций, поэтому могут эффективно использоваться при решении достаточно небольшого количества задач оптимизации.

Перечислительные методы базируются на переборе и анализе вариантов на множестве допустимых решений на основе различных алгоритмов поиска. Эти методы доступны, просты и весьма эффективны для задач небольшой размерности. При увеличении размерности эффективность методов быстро падает.

Стохастические методы оптимизации основаны на алгоритмах случайного поиска и запоминания лучшего из просмотренных вариантов.

Однако рандомизированные методы даже при долгой работе не способны дать результат лучше перечислительного алгоритма.

УДК 519.6(075.8)

*Бездомников А.В., Голованова П.Д.*  
(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)  
**МЕТОД НЕДООПРЕДЕЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ**

Изначально метод недоопределенных моделей разрабатывался для исследований в области искусственного интеллекта, но в начале 80-х годов он постепенно трансформировался в метод прикладной оптимизации при наличии сложных ограничений. Среди других методов он выделяется вычислительной эффективностью и универсальностью.

Существует два основных типа переменных различной природы. Это классическая переменная, являющаяся одним из основных понятий в высшей математике, которая представляет собой переменную способ-

ную принимать различные значения из некоторого множества. Также есть алгоритмическая переменная, которую можно интерпретировать как некоторую ячейку памяти и по ходу реализации алгоритма оптимизации в нее записываются различные значения. В обоих типах переменной можно сопоставить единственное значение из допустимого множества.

В недоопределенных моделях переменной соответствует оценка ее реального значения на основе имеющейся информации о системе. Данное значение является промежуточным и может корректироваться по мере реализации алгоритма оптимизации. При этом значение недоопределенной переменной становится все более приближенным к оптимальному. Таким образом, для недоопределенной переменной в процессе решения существует два значения: текущее значение, получаемое в данный момент и ее оптимальное значение.

Недоопределенные модели позволяют решать широкий класс задач в таких областях как проектирование сложных технических систем и экономическое моделирование.

УДК 517.2

*Платонова О.Ю., Канарейкин С.С.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

### **МЕТОДЫ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ТРАНСЦЕНДЕНТНЫХ (НЕАЛГЕБРАИЧЕСКИХ) ФУНКЦИЙ**

К интегралам от рациональных функций сводятся следующие интегралы, где R-рациональная функция:

I.  $\int R(\sin x, \cos x) dx$  – подстановкой  $z = tg \frac{x}{2}$ .

При этом  $\sin x = \frac{2z}{1+z^2}$ ,  $\cos x = \frac{1-z^2}{1+z^2}$ ,  $dx = \frac{2dz}{1+z^2}$ .

II.  $\int R(tgx) dx$  – подстановкой  $tgx = z$ . При этом  $x = arctgz$ ,  $dx = \frac{dz}{1+z^2}$ .

III.  $\int R(e^x) dx$  – подстановкой  $e^x = z$ . При этом  $x = lnz$ ,  $dx = \frac{dz}{z}$ .

Рассмотрим на примерах:

$$1) \int \frac{dx}{2\sin x - \cos x}; \quad 2) \int \frac{dx}{5 + 4\cos ax}; \quad 3) \int \frac{tgx dx}{1 - ctg^2 x}; \quad 4) \int \frac{e^{3x} dx}{e^{2x} + 1}$$

Решение. 1) Полагая  $tg \frac{x}{2} = z$  и заменяя  $\sin x$ ,  $\cos x$  и  $dx$  указанными выражениями через  $z$ , вытекающими из этой подстановки, получим

$$\int \frac{dx}{2\sin x - \cos x} = \int \frac{2dz}{z^2 + 4z - 1} = 2 \int \frac{d(z+2)}{(z+2)^2 - 5} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{5}} \ln \left| \frac{z+2-\sqrt{5}}{z+2+\sqrt{5}} \right| + C = \frac{1}{\sqrt{5}} \ln \left| \frac{2-\sqrt{5} + tg \frac{x}{2}}{2+\sqrt{5} + tg \frac{x}{2}} \right| + C.$$

2) Полагая  $tg \frac{ax}{2} = z$ , согласно правилу I имеем

$$\cos ax = \frac{1-z^2}{1+z^2}, dx = \frac{2dz}{a(1+z^2)},$$

$$\int \frac{dx}{5+4\cos ax} = \frac{2}{a} \int \frac{dz}{z^2+9} = \frac{2}{3a} \operatorname{arctg} \frac{z}{3} + C$$

$$= \frac{2}{3a} \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{3} tg \frac{ax}{2} \right) + C.$$

3) Полагая  $tg x = z$ , согласно правилу II получим

$$\int \frac{tg x dx}{1 - ctg^2 x} = \int \frac{z^3 dz}{z^4 - 1}$$

$$= \frac{1}{4} \int \frac{d(z^4 - 1)}{z^4 - 1} = \frac{1}{4} \ln |z^4 - 1| + C$$

$$= \frac{1}{4} \ln |tg^4 x - 1| + C.$$

4) Применяя подстановку  $e^x = z$ , получим  $dx = \frac{dz}{z}$  и

$$\int \frac{e^{3x} dx}{e^{3x} + 1} = \int \frac{z^3 dz}{(z^2 + 1)z} = \int \frac{z^2 dz}{z^2 + 1} =$$

$$= \int \left( 1 - \frac{1}{z^2 + 1} \right) dz = \int dz - \int \frac{dz}{z^2 + 1} = z - \operatorname{arctg} z$$

$$+ C = e^x - \operatorname{arctg} e^x + C.$$

УДК 517.2

*Платонова О.Ю., Никандров С.В.*

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПАРАБОЛИЧЕСКИХ ТРАПЕЦИЙ**

Метод трапеций — метод численного функции одной переменной, заключающийся в замене на каждом элементарном отрезке подынтегральной функции на многочлен первой степени, то есть линейную функцию. Площадь под графиком функции аппроксимируется прямоугольными трапециями. Алгебраический порядок точности равен 1.

Если отрезок  $[a, b]$  является элементарным и не подвергается дальнейшему разбиению, значение интеграла можно найти по формуле

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{f(a) + f(b)}{2}(b - a) = E(f), E(f) = -\frac{f''(\xi)}{12}(b - a)^3.$$

Это простое применение формулы для площади трапеции — произведение полусуммы оснований, которыми в данном случае являются значения функции в крайних точках отрезка, на высоту (длину отрезка интегрирования). Погрешность аппроксимации можно оценить через максимум второй производной

$$|E(f)| \leq -\frac{(b - a)^3}{12n^2} \max_{x \in [a, b]} |f''(x)|$$

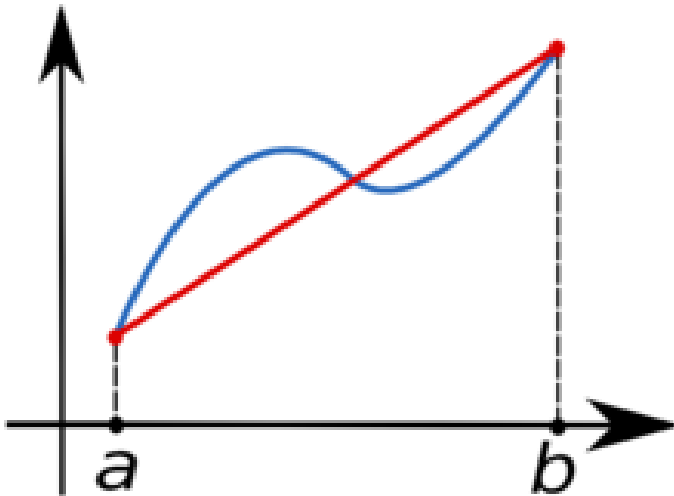


Рисунок 1 – Аппроксимация функции линейной зависимостью при интегрировании методом трапеции

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ С  
ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ**

В энергетике критически важны надежность и прогнозирование отказов. Цель — изучить цифровые двойники, их роль в повышении надежности, преимущества и примеры [1].

Цифровой двойник представляет собой виртуальную динамическую копию физического объекта, процесса или системы, которая создается и постоянно актуализируется на основе данных, получаемых с реального объекта в режиме реального времени. В энергетике принято выделять три основных вида цифровых двойников. Цифровые двойники компонентов — это наиболее детализированные модели отдельных физических единиц, таких как турбина, трансформатор или генератор; они позволяют анализировать состояние конкретного оборудования, прогнозировать его износ и определять причины сбоев. Цифровые двойники активов объединяют модели компонентов в единую систему, представляющую более крупный объект — электростанцию, подстанцию или электрическую сеть; они обеспечивают комплексный взгляд на работу актива и взаимосвязь его частей. Цифровые двойники процессов моделируют и оптимизируют конкретные технологические процессы, такие как генерация, распределение электроэнергии или техническое обслуживание [1].

Пример для турбины ПТ-60-130. Создана 3D-модель, установлены датчики, используется ML для анализа. Результат: раннее выявление аномалий, прогноз остаточного ресурса, переход к обслуживанию по состоянию, снижение простоев на 20-30% и затрат на 15% [2].

Плюсы: надежность, предотвращение аварий, снижение затрат. Минусы: высокие инвестиции, дефицит кадров, зависимость от качества данных [3].

***Литература***

1. Цифровой двойник // Википедия // URL: <https://clck.ru/3T4yUW>
2. Тепловые испытания турбоагрегата типа ПТ-60-130/13 ст.№ 1 ТЭЦ-6 ОАО «Иркутскэнерго» // ec-ute.ru // URL: <https://www.ec-ute.ru/projects/project/?proj=123>
3. Цифровые двойники в энергетической отрасли // info-pro.ru // URL: <https://clck.ru/3T4yYr>

**ЭВОЛЮЦИЯ «ОРГАНОВ ЧУВСТВ» ПРОМЫШЛЕННОСТИ:  
КАК СОВРЕМЕННЫЕ ДАТЧИКИ И ПОТ МЕНЯЮТ ОБЛИК КИ-  
ПиА**

Эволюция систем измерений: 1950–60-е — электронные датчики против громоздких электромеханических; 1970–80-е — кремниевые полупроводниковые сенсоры с интеграцией обработки; современность — ПОТ, сенсоры как сетевые узлы с удалённым мониторингом и самодиагностикой [1].

Аналоговые датчики: высокое быстродействие, простота, незаменимы для реакции в реальном времени. Цифровые — выше точность, помехоустойчивость, встроенная обработка; предпочтительны для сложных систем и удалённой передачи [2].

ПОТ меняет архитектуру: переход от двухуровневой иерархии к трёхуровневой. Плоские ячеистые сети, граничные шлюзы снижают задержки до долей мс, повышают отказоустойчивость и сокращают облачный трафик [3].

Роль персонала КИПиА: от настройки и ремонта — к аналитике больших данных, прогнозирующему обслуживанию, кибербезопасности сетей. Требуется владение программированием, промышленными протоколами, сетевой сегментацией [4].

*Литература*

1. История развития сенсорных технологий // URL: <https://clck.ru/3TSWPK>
2. Аналоговые и цифровые датчики температуры, тока, давления. // URL: <https://www.ttk-rus.ru/blog/raznitsa-mezhdu-analogovymi-i-tsifrovymi-datchikami/>.
3. 20220610.pdf – Современные подходы и тенденции в архитектуре ПОТ-систем // URL: <https://cloud.cta.ru/iblock/eda/eda45c9c3f2fd4814dfe81cb8dfbb527/20220610.pdf>.
4. Промышленный Интернет вещей (ПОТ): Полное руководство по архитектуре, протоколам и внедрению 2025 // URL: <https://psve.ru/blog/0jasyyosy1-internet-veschei-iot-v-promishlennoi-avt>.

*Научное издание*

**XXVIII научно-техническая конференция  
молодых ученых, аспирантов, студентов**

**Технические науки**

Компьютерная верстка С.И. Сидельников

Редактор Туманова Е.М.

Подписано в печать 18.05.2026 г. Формат 60х84/16

Бумага «Комус». Отпечатано на ризографе.

Усл. печ. л. 5,75. Уч.- изд. л. 3,7.

Тираж 50 экз. Заказ № 86/59.

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»  
Новомосковский институт (филиал). Издательский центр  
Адрес университета: 125047, Москва, Миусская пл., 9  
Адрес института: 301655 Тульская обл., Новомосковск, ул. Дружбы, 8