

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
Инженерная школа «Интеллектуальные энергетические системы»

---

# **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

Сборник трудов  
II Всероссийской научно-практической конференции

12–14 ноября 2024 г.

Томск 2024

УДК 620.9:004.89(063)  
ББК 31.27:32.813л0  
И73

**И73 Интеллектуальная энергетика** : сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции (Томск, 12–14 ноября 2024 г.) / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2024. – 468 с.

Сборник содержит доклады, представленные на II Всероссийской научно-практической конференции «Интеллектуальная энергетика», прошедшей в Томском политехническом университете на базе Передовой инженерной школы «Интеллектуальные энергетические системы». Материалы сборника отражают доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, принятые к обсуждению на секциях: «Цифровые технологии в прикладных задачах энергетики», «Искусственный интеллект в системах принятия решений», «Цифровое моделирование технических объектов и систем», «Цифровые системы управления техническими объектами», «Искусственный интеллект в образовании и правовые основы цифровой среды».

Сборник предназначен для специалистов, занимающихся цифровыми технологиями в энергетической отрасли, студентов и аспирантов соответствующих направлений подготовки.

**УДК 620.9:004.89(063)**  
**ББК 31.27:32.813л0**

*Редакционная коллегия*

В.А. Першуков, д.т.н., советник ректора ТПУ, председатель программного комитета;  
А.О. Сулайманов, к.т.н., и.о. руководителя, главный эксперт ОИС ИШИНЭС ТПУ, заместитель председателя Организационного комитета;  
Т.А. Езангина, к.т.н., ведущий научный сотрудник ОИС ИШИНЭС ТПУ, председатель 1-й секции;  
А.Г. Зибзеев, к.т.н., главный эксперт по цифровизации АО «ТомскНИПИнефть», председатель 2-й секции;  
В.С. Николаенко, к.э.н., доцент Бизнес-школы ТПУ, председатель 3-й секции;  
С.В. Леонов, к.т.н., доцент ОИТ ИШИТР ТПУ, председатель 4-й секции;  
Т.Е. Мамонова, к.т.н., доцент ОИС ИШИНЭС ТПУ, председатель 5-й секции;  
М.А. Михайлович, инженер ОИС ИШИНЭС ТПУ, секретарь 1-й секции;  
Н.Б. Шахова, к.х.н., специалист по УМР ОИС ИШИНЭС ТПУ, секретарь 2-й секции;  
Б.А. Комаров, инженер ОИС ИШИНЭС ТПУ, секретарь 3-й секции;  
Е.С. Михеев, инженер ОИС ИШИНЭС ТПУ, секретарь 5-й секции;  
А.В. Упоров, инженер ОИС ИШИНЭС ТПУ, секретарь 4-й секции;  
А.М. Богдан, ведущий эксперт орг. отдела ИШИТР, секретарь конференции.

**Редакционная коллегия предупреждает, что за содержание представленной информации ответственность несут авторы**

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 1. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ ЭНЕРГЕТИКИ

#### **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СЕНСОРОВ ПРОТОТИПА РЕНТГЕНОВСКОГО ДЕТЕКТОРА**

*Бикметов Н.Р.* ..... 12

#### **РАЗРАБОТКА ПОДХОДА ПО РАННЕМУ ОБНАРУЖЕНИЮ ВОЗГОРАНИЙ ЗА СЧЕТ АНАЛИЗА ВИДЕОПОТОКА**

*Глотов М.И., Кропотова С.С.* ..... 14

#### **FACTORS AFFECTING MAGNETOHYDRODYNAMIC GENERATOR PERFORMANCE**

*Myshkin V.F., Mohamed Bahyeldin Sopeh.* ..... 17

#### **РАСЧЕТ ТВЭЛ НА РАСТЯЖЕНИЕ В ПП «ЛОГОС-ПРОЧНОСТЬ»**

*Путилин А.К., Попов Т.А., Селиваникова О.В.* ..... 20

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ ИРТ-3М**

*Пасько Д.В., Смольников Н.В.* ..... 23

#### **СОЗДАНИЕ КЛАССА ОБРАБОТКИ БЛОКЧЕЙН-ТРАНЗАКЦИЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТИ УМНЫХ СЧЕТЧИКОВ НА RYTHON**

*Демин А.Ю., Дмитриичук Д.И., Зарубин В.А.* ..... 26

#### **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИЙНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕПЛООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ РЕАКТОРА БРЕСТ-300 В СРЕДЕ ЛОГОС-АЭРОГИДРОДИНАМИКА**

*Павлов С.В., Семенов А.О.* ..... 30

#### **ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

*Бернякович Е.А.* ..... 34

#### **ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ СИЛОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА**

*Гусаров И.Н.* ..... 37

#### **ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ СБОРА И ПОДГОТОВКИ ГАЗА**

*Коротченко Р.К.* ..... 41

#### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ВЫРАБОТКОЙ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ СЭС ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

*Пичугина Е.В., Прохоров А.В.* ..... 45

#### **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТОРО ЭНЕРГОБЛОКА ОДЭК АО «СХК» С РЕАКТОРОМ «БРЕСТ-ОД-300»**

*Коробейников Е.А.* ..... 49

#### **РЕШЕНИЕ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ АНАЛИЗАТОРА ПРОТОННОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ПМРА-IV НА ОСНОВЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**

*Нгуен Д.А., Кашаев Р.С., Арсланов А.Д., Чан В.Т.* ..... 53

#### **МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГРУППОЙ АВТОНОМНЫХ РОБОТОВ**

*Лазарев В.С.* ..... 57

#### **ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ПОПЫТКАМ ПЕРЕХВАТА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СУПЕРСИСТЕМЫ, РЕАЛИЗУЕМЫХ ПУТЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ ПЛАТФОРМЫ**

*Гравчак Е.П., Логинов Е.Л.* ..... 60

#### **ИНТЕГРАЦИЯ IoT И ПЕРЕДОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВЕТРОВЫХ ТУРБИН В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ**

*Аль Уатик Х.С., Пронин С.П.* ..... 62

#### **АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОЦЕНКЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ И АНАЛИТИКИ**

*Шестаков А.С., Титов Е.В.* ..... 66

<b>АЛГОРИТМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ СЕТИ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ</b> <i>Коноплев Н.Е., Компанеец Б.С.</i> .....	69
<b>ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО ДАННЫМ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ</b> <i>Шеломенцев В.А., Хамитов Р.Н.</i> .....	72
<b>ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ ВИЭ В СОСТАВЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА 0,4-10 КВ</b> <i>Бурькин Д.С., Шестопалова Т.А.</i> .....	75
<b>РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПАЛЬЕОЗЕРСКОЙ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ</b> <i>Вишневский А.Р., Кулдин Н.А.</i> .....	78
<b>ВНЕДРЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В КЛАСТЕРНУЮ ЦИФРОВУЮ ПОДСТАНЦИЮ</b> <i>Левичев Д.Г., Пряхина Е.Н.</i> .....	82
<b>ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ SCADA-СИСТЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА</b> <i>Колыхалов М.Е., Гаврилов В.А.</i> .....	86
<b>СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ТОКА НАГРУЗКИ ФИЛЬТР- КОМПЕНСИРУЮЩИМИ УСТАНОВКАМИ С УЧЕТОМ ИХ ЗАВИСИМОСТИ ОТ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОСЕТИ</b> <i>Зарипов Р.К., Тукшаитов Р.Х.</i> .....	91
<b>АРХИТЕКТУРА ПОИСКА АНОМАЛИЙ В РАБОТЕ ТВЭЛ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ СВЯЗНОГО МОДУЛЯ ПЕЛЬТЬЕ С ЭЛЕМЕНТАМИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ</b> <i>Любимов П.В.</i> .....	95
<b>АЛГОРИТМ РАСЧЕТА И ПОВЕРКИ СОСТАВА ПРИРОДНОГО ГАЗА ПО ПРОЦЕНТНОМУ СОДЕРЖАНИЮ КОМПОНЕНТОВ</b> <i>Любимов П.В.</i> .....	100
<b>К ВОПРОСАМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ И ОГРАНИЧЕНИЙ</b> <i>Безбатченко А.А., Ситдииков Д.С.</i> .....	104
<b>СЕКЦИЯ 2. ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ</b>	
<b>ИНТЕГРАЛЬНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В СОСТАВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРОЕКТНОГО НАПРАВЛЕНИЯ «ПРОРЫВ»</b> <i>Павлова И.В., Кириенко С.О.</i> .....	109
<b>РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ПРОЕКТНОМ НАПРАВЛЕНИИ «ПРОРЫВ»</b> <i>Терина М.Д.И., Сиполс А.А.</i> .....	112
<b>ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ СИСТЕМ</b> <i>Кожевников М.М., Чумаков О.А., Ганак О.Б.</i> .....	115
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЛГОСРОЧНОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SPINEORT</b> <i>Северина Я.Д., Шакиров В.А.</i> .....	119
<b>РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ МИКРОГЕНЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ</b> <i>Клишин П.П., Васьков А.Г.</i> .....	123
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА ВИХРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ СЕПАРАТОРЕ</b> <i>Мугинов А.М., Шаймарданов А.Р.</i> .....	126
<b>ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К МОНИТОРИНГУ ПАРАМЕТРОВ МНОГОФАЗНЫХ ЖИДКОСТЕЙ: ПРИМЕНЕНИЕ ПМР-РЕЛАКСОМЕТРА С УПРАВЛЕНИЕМ СРЕДОЙ ПРОГРАММИРОВАНИЯ LABVIEW</b> <i>Васинкин К.А., Кашаев Р.С.</i> .....	128



<b>КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСАДОК ФУНДАМЕНТА СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ</b>	
<i>ДОЛГОВА А.Н., АХМЕТВАЛИЕВА Л.Р., САТАРОВ А.С.</i> .....	131
<b>К ВОПРОСУ О ВНЕДРЕНИИ СИСТЕМ АСКУЭ В МНОГОКВАРТИРНЫЕ ДОМА</b>	
<i>АФАНАСЬЕВА С.В., ГАВРИЛОВ В.А.</i> .....	135
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ РАДИОМЕТКИ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ РАДИОСЕНСОРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЭА</b>	
<i>НИКОЛЬШИН М.Ю., БОЙКОВ К.А.</i> .....	138
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛИКА СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА НА БАЗЕ КРЕМНИЕВОГО ФОТОУМНОЖИТЕЛЯ В ИНСТРУМЕНТАРИИ GEANT4</b>	
<i>ЧУМАКОВ Д.К., ФЛУСОВА Д.С., БИКМЕТОВ Н.Р., ГОГОЛЕВ А.С.</i> .....	142
<b>ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛНОСВЯЗНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ПРЕДСКАЗАНИЕ ВЫХОДНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ С ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА</b>	
<i>МИХАЙЛОВИЧ М.А., МАМОНОВА Т.Е., ЛЕОНОВ С.В.</i> .....	144
<b>ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ТРОСОБЛОЧНОЙ СИСТЕМЫ ОБЕЗВЕШИВАНИЯ С УЧЕТОМ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ МАССЫ ГРУЗА И ДЛИНЫ ТРОСА</b>	
<i>ПЕРЕСЕЛЯК М.Ю., ГАЙВОРОНСКИЙ С.А.2, ХОЖАЕВ И.В.</i> .....	148
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ МАТЛАБ SIMULINK</b>	
<i>ЗАРУБИН А.Д., ТИХОМИРОВ В.А., АСТРАХАНЦЕВ Л.А.</i> .....	152
<b>КРАТКИЙ ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В КАЛИБРОВКЕ АГЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ</b>	
<i>РАДЧЕНКО Д.М.</i> .....	157
<b>ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ УСТАНОВКИ СИНТЕЗА ПКФ</b>	
<i>МОИСЕЕВА К.М., КРАЙНОВ А.Ю., ЧУКАНОВ М.В., ПЕТРЕНКО А.Ю.</i> .....	160
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ И ТЕПЛОПЕРЕНОСА В УСТАНОВКЕ СИНТЕЗА ПКФ</b>	
<i>МОИСЕЕВА К.М., КРАЙНОВ А.Ю., ЧУКАНОВ М.В., ПЕТРЕНКО А.Ю.</i> .....	161
<b>НОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫХОДНОГО ДЖИТТЕРА ОБОРУДОВАНИЯ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ</b>	
<i>БАТЕНКОВ К.А.</i> .....	163
<b>АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙНА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ</b>	
<i>ДЕСНИЦКИЙ В.А.</i> .....	166
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НУКЛИДА 211АТ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ НА ЦИКЛОТРОНЕ Р7--М ТПУ</b>	
<i>КИСЕЛЕВ Д.А.</i> .....	169
<b>ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМОШКАФА С ПАССИВНЫМ ОБОГРЕВОМ</b>	
<i>ТРЕНБАЧ И.В., ГУРИНА Е.И.</i> .....	171
<b>РАЗРАБОТКА СТРОГОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОЦЕССА ИЗОМЕРИЗАЦИИ ПРЯМОГОННЫХ БЕНЗИНОВЫХ ФРАКЦИЙ</b>	
<i>ПУШИЛИН Е.А., САНКИНА Я.Ю., ЧУЗЛОВ В.А.</i> .....	175
<b>ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В УПРАВЛЕНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ МАНИПУЛЯТОРОВ</b>	
<i>АВАД П.А.В., МАМОНОВА Т.Е.</i> .....	179
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ</b>	
<i>МАСЛОВ А.А., ПОЛОВНИКОВ В.Ю.</i> .....	183
<b>ПРИМЕНЕНИЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ</b>	
<i>УМАРОВ Г.Е., ПРОХОРОВ А.В.</i> .....	185
<b>РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СОЗДАНИЯ РАСЧЕТНЫХ ФАЙЛОВ ДЛЯ MCSU-PTB</b>	
<i>БАЛАЧКОВ М.М., ФЕДОРЕНКО Е.А.</i> .....	189
<b>МОДЕЛЬ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ПРИЗМЫ С PU-VE ИСТОЧНИКОМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b>	
<i>ЖИВОТОВСКИЙ А.А., БАЛАЧКОВ М.М.</i> .....	193

<b>РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПАССИВНОГО ОТВОДА ТЕПЛА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЛОГОС</b> <i>ВОЛКОВ Р.А., СЕМЕНОВ А.О.</i> .....	195
<b>ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ ОБУСТРОЙСТВА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ</b> <i>ПРОСКУРЯКОВ М.А., БЕЛЯУСКЕНЕ Е.А.</i> .....	200
<b>РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ УЧЁТА, МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ОБЪЕКТАХ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ</b> <i>РАМЕНСКИЙ К.Р., МАНЯКИНА О.А.</i> .....	203
<b>ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ УГЛЕМЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ДЛИННОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КАНАЛЕ</b> <i>ТЛЕУЛЕНОВ Р.Р., ЧУРА Е.С., МОИСЕЕВА К.М.</i> .....	207
<b>РЕЖИМЫ ЗАЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ ГЕНЕРАТОРОВ</b> <i>ДОРЖИЕВА Б.С., ГРИШИН Н.В., ЖЕЛЕЗНЯК В.Н., ГАРГАНЕЕВ А.Г., РАДНАЕВ А.Б.</i> .....	210
<b>ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОРИЙ-ПЛУТОНИЕВОГО КОМПОЗИТА В РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКЕ ВВЭР-1000</b> <i>БАТАЛОВ А.А., КНЫШЕВ В.В.</i> .....	213
<b>ОЦЕНКА ЖЕСТКОСТИ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ</b> <i>КОЧЕТЫГОВ М.А., ГОНЦОВА М.М., КОПЫРИН В.А.</i> .....	217
<b>МОДЕЛЬ ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИЗЕЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ</b> <i>БРАММ А.М.</i> .....	220
<b>ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА</b> <i>ГАФАРОВА К.А.</i> .....	225
<b>РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ ПРИ РVT-РАСЧЕТАХ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ СМЕСЕЙ</b> <i>ЛЕГКОВОЙ Г.В., МОИСЕЕВА Е.Ф., МАЛЫШЕВ В.Л.</i> .....	228
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ VR-ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ 0</b> <i>ВАСИЛЬЕВ К.С., ГАЗИЗОВ Ш.И., ШАЙБАКОВ Б.Р.</i> .....	231
<b>WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА</b> <i>ГАЛИКЕЕВА К.Р., ВЕРХОТУРОВ М.А., ВЕРХОТУРОВА Г.Н.</i> .....	233
<b>ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ В СУХОМ БЛОКЕ ОХЛАДИТЕЛЯ ГИБРИДНОЙ ГРАДИРНИ</b> <i>МАЯСОВА А.О., ЧЕТЫРЧИНСКИЙ Я.В., МАДЫШЕВ И.Н.</i> .....	237
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ</b> <i>ЛАСТОЧКИН П.В., КОЖЕВНИКОВ А.Н.</i> .....	240
<b>К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 10 КВ</b> <i>ПИТЕРСКИЙ Н.С.</i> .....	242
<b>ИССЛЕДОВАНИЯ СИНХРОНИЗАЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ В ИЗОЛИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ НА БАЗЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SIMINTESCH</b> <i>ЗАХАРОВ В.О., СОЛОПОВ Р.В., УСАНОВ А.В.</i> .....	245
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMINTESCH</b> <i>ЗАХАРОВ В.О., МАРТЫНОВ А.О., АНДРЕЕНКОВ Е.С.</i> .....	249
<b>РАБОТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НЕКАЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ</b> <i>ИВАНОВ Д.А., ЗАХАРОВ В.О., АНДРЕЕНКОВ Е.С.</i> .....	253

<b>EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATIONS OF WATER HAMMER ANALYSIS IN PIPELINE</b> <i>RUAN S., МАМОНОВА Т.Е.</i> .....	257
<b>ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «ДВИГАТЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛЯТОРОВ</b> <i>СИТДИКОВ Д.С.</i> .....	260
<b>ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРИЕМНИКА ДЛЯ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА</b> <i>ТИТКОВ И.Е.</i> .....	264
<b>АНАЛИЗ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ СТАНЦИЙ СВЯЗИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖОРОВ</b> <i>СОКОЛЬНИКОВ Д.А., ОСТРОВСКИЙ Ю.Н., ВАСИЛЬЕВ Н.А.</i> .....	268
<b>СЕКЦИЯ 3. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОБРАЗОВАНИИ И ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ СРЕДЫ</b>	
<b>НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ УДАЛЕННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАВИАТУРНОЙ ДИНАМИКИ</b> <i>БАРЬШЕВ М.В., КОЧЕГУРОВА Е.А.</i> .....	272
<b>ГИБРИДНЫЕ МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ОСНОВЕ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ</b> <i>ВАНЮКОВ Д.А.</i> .....	276
<b>ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ</b> <i>КАЛЬЯНОВ А.Д.</i> .....	280
<b>ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ</b> <i>КОЛОГОРОВ И.Д.</i> .....	284
<b>ВОЗМОЖНОСТИ СЕРВИСА UNISLIDE ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУЛЬНЫХ КВИЗОВ</b> <i>КОТОВА И.Е.</i> .....	286
<b>АДАПТИВНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПЛАТФОРМЫ В ОБРАЗОВАНИИ</b> <i>НИКУЛИН А.С.</i> .....	288
<b>ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ: ВОЗМОЖНОСТИ, ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ</b> <i>ОРЛОВА Т.С.</i> .....	291
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ</b> <i>КОРЖНЕВА Т.Г., ТУРАНОВ С.Б., ТОЛКАЧЕВА К.П., ПОЛИСАДОВА Е.Ф.</i> .....	294
<b>ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВЕБ-РАЗРАБОТКЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ</b> <i>ЩЕРБИНИН А.В.</i> .....	297
<b>СЕКЦИЯ 4. ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ</b>	
<b>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-АВИАЦИОННОЙ СЛУЖБОЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РЕГЛАМЕНТНЫХ РАБОТ И РЕМОНТА НА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКЕ С УЧЕТОМ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ</b> <i>АЗАРНОЙ Р.В., ИППОЛИТОВ С.В., МИРОНОВ С.А.</i> .....	300
<b>К ВОПРОСУ О ФУНКЦИОНИРОВАНИИ АСУ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ</b> <i>АНДРЕЕВ Н.С., ГАВРИЛОВ В.А.</i> .....	303
<b>МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМОВ РАЗРАБОТКИ ИНТЕРФЕЙСОВ СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРСКОГО КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ</b> <i>АХРЕМЧИК П.О., АХРЕМЧИК О.Л.</i> .....	305
<b>АНАЛИЗ ИЕРАРХИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ</b> <i>ВАГАПОВА А.А., ГАВРИЛОВ В.А.</i> .....	308

<b>ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ</b>	
<i>ВАЛИЕВА А.Х., ГАВРИЛОВ В.А.</i> .....	310
<b>ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ ПРИ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБСЛЕДОВАНИЯХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ</b>	
<i>ВОРОБЬЕВ Д.С., ГАВРИЛОВ В.А.</i> .....	312
<b>АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ НА ПРЕДПРИЯТИИ С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКОВ ДВИЖЕНИЯ И ПРИСУТСТВИЯ</b>	
<i>ГАФФАНОВА А.Р., ГАВРИЛОВ В.А.</i> .....	314
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ IOT ТЕХНОЛОГИЙ В ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКАХ И ПОСТРОЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СБОРА ДАННЫХ</b>	
<i>УПОРОВ А.В., МИХЕЕВ Е.С., ЛЕОНОВ С.В.</i> .....	317
<b>ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВОИЧНЫХ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ И БЕСКОНЕЧНО-ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ С ЭФФЕКТАМИ КВАНТОВАНИЯ ПО УРОВНЮ</b>	
<i>ЕВДОКИМОВ С.Э., ЖОРАЕВ Т.Ю., ЩАГИН А.В.</i> .....	320
<b>АВТОМАТИЗАЦИЯ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА</b>	
<i>ЗОТИНА А.А., ГАВРИЛОВ В.А.</i> .....	324
<b>МОДЕЛЬ АЛЛОКАЦИИ ПАМЯТИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСОВ</b>	
<i>ИВАНОВ Е.А., МАМОНОВА Т.Е.</i> .....	326
<b>ОРГАНИЗАЦИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ИНТЕРФЕЙСОВ ETHERNET-RS485 В ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ НА JAVA</b>	
<i>ИВАНОВ Д.А.</i> .....	330
<b>РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ</b>	
<i>ИЛЬИН В.И.</i> .....	333
<b>СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ДАТЧИКОМ ДИСТАНЦИИ «НС-SR04» ПРИ ПОМОЩИ ОДНОГО ЦИФРОВОГО ПОРТА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА «STM32F042F6P6»</b>	
<i>КАЛИБАБЧУК А.О., КАЛИБАБЧУК М.П.</i> .....	335
<b>АДАПТИВНЫЕ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ВОЕННЫХ ИТ-СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ КИБЕРУГРОЗ</b>	
<i>КАЛИНИКИН Н.А.</i> .....	338
<b>РАЗРАБОТКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ</b>	
<i>КАТКОВ В.В.</i> .....	341
<b>АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭКСТРАКЦИОННЫМ БЛОКОМ НА БАЗЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО РЕГУЛЯТОРА</b>	
<i>КОЗЛОВА Ю.М., ЕМЕЛЬЯНОВ А.М., НАДЕЖДИН И.С.</i> .....	344
<b>ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА РЕГИСТРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ ТИПИЧНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗГОРАНИЯХ В ПОМЕЩЕНИЯХ</b>	
<i>КРАСНИКОВ А.М., ЕГОРОВ Р.И., ЖДАНОВА А.О.</i> .....	348
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ДВИЖЕНИЯ ГРУППЫ РОБОТОВ СТРОЕМ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ</b>	
<i>ЛАЗАРЕВ В.С., МАЛЬЦЕВ В.А.</i> .....	351
<b>АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГЕОДЕЗИИ</b>	
<i>МАЛЬЦЕВ И.В., НАСИБУЛЛИН Д.Р., ХАФИЗОВА А.Ф.</i> .....	353
<b>ПОВЫШЕНИЕ ОПЕРАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ</b>	
<i>ПОДКИН К.И., НАЗАРОВА Ю.А.</i> .....	356
<b>РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА ПО НАПРЯЖЕНИЮ И ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ</b>	
<i>РЕЦ В.В., ПРОХОРОВ А.В.</i> .....	360

<b>ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ХОДЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВКИ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА НЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ</b> <i>СУВОРОВ Д.В., ХУДОНОГОВА Л.И.</i> .....	364
<b>РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО СИГНАЛИЗАТОРА ПРОТЕЧКИ РУБАШЕК ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯТЦ</b> <i>СУМИН Г.В., СМИРНОВ Н.П., НАДЕЖДИН И.С.</i> .....	369
<b>ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА РНЕТЛАВ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ЛВС</b> <i>ТКАЧЕВ М.А.</i> .....	371
<b>ВКЛАД БАБСТОНОВ В ОГРАНИЧЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ОТКРЫТЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ПОДВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ЭНЕРГЕТИКИ</b> <i>МЫШКИН В.Ф., ХАН В.А., БУРДАКИНА О.В., СЕМЕНОВ Д.А., УСКОВ Т.И., ТУГОЛУКОВ В.А.</i> .....	375
<b>ПРИМЕНЕНИЕ ПАТТЕРНА ВЛОС ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МАСШТАБИРУЕМЫХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ПЛАТФОРМЕ FLUTTER</b> <i>ФРАНЦЕВ А.Р.</i> .....	378
<b>БЕЗУДАРНАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ЭНЕРГОСЕТИ</b> <i>СТОЦКАЯ А.Д., ЛАВРИНОВСКИЙ В.С., ЮРОВСКАЯ В.В., МИГРАНОВ Р.М.</i> .....	381
<b>СЕКЦИЯ 5. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СИСТЕМАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ</b>	
<b>ВЛИЯНИЕ AI НА ПРОИЗВОДСТВО, ПЕРЕДАЧУ И ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ</b> <i>АВETИСЯН А.С.</i> .....	386
<b>РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ КАДРАМИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ</b> <i>БУГЛАЕВ Т.А., БУГЛАЕВ А.В., СМЕЛЬЦОВА К.В.</i> .....	389
<b>МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАССИВОВ ДАННЫХ В РАБОТЕ С КОНВЕЙЕРОМ</b> <i>ВАЛИТОВ С.Р., ГАПРИНДАШВИЛИ И.Г., ПАРХОМЕНКО М.С., ШАЛЫГИНА У.А., ЛОБОДА Ю.О.</i> .....	392
<b>ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫМ РИСКАМИ В НЕФИНАНСОВЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ</b> <i>ВОСТРОВ В.А., ГАВРИЛЕНКО Т.В.</i> .....	395
<b>МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ СМЫСЛОВОЙ НАГРУЗКИ ТЕКСТОВ С ЭЛЕМЕНТАМИ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ</b> <i>ГОЛУБЕВ Р.О., МАМОНОВА Т.Е.</i> .....	397
<b>ПРИМЕНЕНИЕ СВЁРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ СЧИТЫВАНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТИЛЯ WEB-СТРАНИЦЫ</b> <i>ГРИГОРЬЕВ А.А.</i> .....	401
<b>ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РАЗРАБОТКЕ И УПРАВЛЕНИИ ИГРОВЫМИ МИРАМИ</b> <i>ГУТАРОВ В.А.</i> .....	405
<b>АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ</b> <i>ЕРЕМЕНКО М.С., ЭЛЕШКЕВИЧ А.Д.</i> .....	408
<b>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОТСЛЕЖИВАНИЯ И ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ АЛГОРИТМОВ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ</b> <i>МИХЕЕВ Е.С., МАМОНОВА Т.Е., ЛЕОНОВ С.В., УПОРОВ А.В.</i> .....	411
<b>МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ВИРТУАЛЬНЫХ АССИСТЕНТАХ</b> <i>ИЛЯСОВ П.А.</i> .....	414
<b>ПРОБЛЕМА УСТОЙЧИВОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГО УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ</b> <i>ИСМАЙЛОВ Э.М., ГАВРИЛЕНКО Т.В.</i> .....	417
<b>СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ</b> <i>КАЛИНКИН Я.В., КИСЕЛЕВ С.А., ЗЕБЗЕЕВ А.Г.</i> .....	420

<b>ОБЗОР МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ</b>	
<i>Курбатов А.В., Еленская А.А.</i> .....	423
<b>К ВОПРОСУ О БЕЗОПАСНОСТИ В МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ВНЕДРЕНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ</b>	
<i>Лимонцев Д.С.</i> .....	426
<b>СИСТЕМА АДАПТИВНОГО ДОСТУПА К СПЕКТРУ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И КОДИРОВАННОГО МАС-ПРОТОКОЛА</b>	
<i>Комашинский В.И., Бикбулатов В.Р., Мешков А.С.</i> .....	430
<b>АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ПРЕОБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ</b>	
<i>Миронов С.А., Азарной Р.В., Савченко А.Ю.</i> .....	434
<b>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ВЫБОРА СЫРЬЯ, ТЕХНОЛОГИИ И ЕЕ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЖИДКИХ БИОТОПЛИВ</b>	
<i>Свириденко А.С., Глушков Д.О.</i> .....	440
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ</b>	
<i>Селин А.И.</i> .....	443
<b>ПЛАНИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ</b>	
<i>Сивакова Т.В., Судаков В.А.</i> .....	446
<b>СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ</b>	
<i>Усачев Н.В., Ковалев Д.А.</i> .....	449
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПРОСА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ</b>	
<i>Усков К.В., Грибанов А.А.</i> .....	451
<b>ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ</b>	
<i>Шамаев В.А., Григоренко А.Г.</i> .....	454
<b>ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА И ДАННЫХ SENTINEL-1 В СИСТЕМЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА РЕКАХ</b>	
<i>Шелегов Г.С., Ситдииков Д.С.</i> .....	457
<b>ШКОЛЬНАЯ СЕКЦИЯ</b>	
<b>ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ</b>	
<i>Сагайдашен А.Р., Портнягин К.В., Яковлев С.И., Корольков Л.В.</i> .....	461
<b>ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА</b>	
<i>Росновский Р.С., Езангина Т.А.</i> .....	465

## **Секция 1. Цифровые технологии в прикладных задачах энергетики**

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СЕНСОРОВ ПРОТОТИПА РЕНТГЕНОВСКОГО ДЕТЕКТОРА

Бикметов Н.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ИШФВП, инженер-исследователь, e-mail:nrb1@tpu.ru

## Введение

В рамках работы над детектирующими системами станции 1-2 «Структурная диагностика» ЦКП СКИФ (Центр коллективного пользования «Сибирский кольцевой источник фотонов») была поставлена задача о разработке прототипа гиперспектрального детектора для дифрактометра высокого разрешения. Прототип предполагается создать на основе кремниевых фотоумножителей (SiФЭУ) серии EQR-15 модели 11-606D-S. В рамках работы над прототипом и его проектировкой была поставлена цель по разработке программно-аппаратного комплекса для проведения калибровки и эквализации каналов детектора и оценки параметров сенсоров.

## Материалы и методы

Для проведения калибровки и эквализации каналов детектора была собрана система позиционирования источника ионизирующего излучения относительно сенсоров (до 10), размещенная в светозащитном кожухе. Питание возможно с помощью лабораторного источника или с ПЛИС. Считывание данных с сенсоров организовано с использованием высокочастотных SMA кабелей, передающих сигнал на осциллограф или ПЛИС.

Для оценки напряжения пробоя был разработан и собран генератор наносекундных импульсов, питающий монохроматический источник света (лазер и светодиоды) на основе схемы, приведенной в [1]. Генерация импульсов основана на лавинном пробое транзистора в прямом включении. Амплитуда импульсов составила 1,7 В, длительность – ~4 нс. Расчет напряжения пробоя осуществлялся на графическом анализе обратных логарифмических производных вольт-амперных характеристик [2]. На полученной кривой производится аппроксимация линейных участков, после чего в точке их пересечения определяется величина напряжения пробоя.

При определении коэффициента температурного уширения формы сигнала сенсора использовалась подготовленная светонепроницаемая коробка с установленным воздушным нагревателем. Измерения амплитуды и длительности сигнала проводились при температурах от +30 до +70 °С.

Для устранения синфазных помех, влияющих на форму сигнала, в электроцепь установки было добавлено шумоподавление с использованием синфазного дросселя, что позволило снизить уровень шумов до 0,5 мВ.

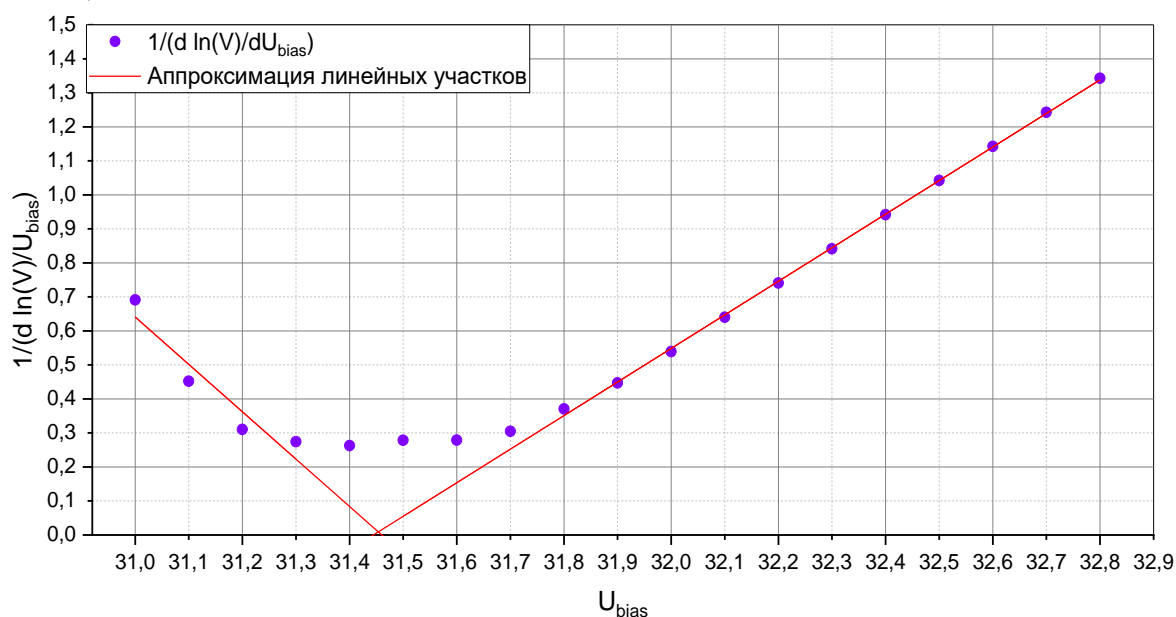


Рис. 1. Аппроксимация линейных участков зависимости обратной логарифмической производной напряжения амплитуды от напряжения смещения при облучении фиолетовым светодиодом



## Результаты и их обсуждение

По результатам работы была произведена эквализация отклика каналов прототипа детектора. По исследованному влиянию RC-цепи на форму сигнала, а также полученной вольт-амперной характеристике были подобраны оптимальные значения емкостей и напряжения смещения, составившее 46 В. Средняя амплитуда сигналов составила  $\sim 1$  В, полуширина –  $\sim 250$  нс.

С помощью светодиодов четырех цветов (красный, оранжевый, зеленый и красный) была произведена оценка напряжения пробоя. На графике (рис. 1) представлен пример графического определения величины напряжения пробоя при экспозиции сенсора под фиолетовый свет. Результаты определения напряжения пробоя и основная информация о используемых светодиодах приведены в таблице 1. Среднее расчетное значение составило  $\sim 31,46 \pm 0,07$ .

Таблица 1

*Параметры используемых светодиодов и рассчитанные значения напряжения пробоя*

Цвет	Длина волны, нм	Угол излучения, °	Напряжение пробоя, В	Погрешность, В
Фиолетовый	400–403	30	31,45	0,07
Зеленый	565–575	60	31,97	0,46
Оранжевый	580–595	60	30,87	0,93
Красный	620–635	60	31,07	0,84
<b>Итог:</b>			<b>31,46</b>	<b>0,07</b>

Измерения длительности сигнала при изменении температуры проводилось с шагом в  $1$  °С. Зависимость полуширины на полувывоте (ПШПВ) была определена как функция от температуры нагрева. При возрастании температуры наблюдается уширение сигнала по зависимости, близкой к линейной, с угловым коэффициентом (т. е. коэффициентом температурного уширения) равным  $\sim 6,6 \pm 0,7$  нс/°С. Более подробно данный эксперимент и соответствующая модель описаны в работе [3].

## Заключение

Полученные экспериментальные результаты хорошо согласуются с результатами моделирования, что позволяет говорить о разработанном программно-аппаратном комплексе как о достаточно надежном инструменте для оценки основных параметров сенсоров на основе кремниевых фотоумножителей.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках программы «Наука» (проект № FSWW-2023-0003).

## Список использованных источников

1. A Compact Avalanche-Transistor-Based Pulse Generator for Transcranial Infrared Light Stimulation (TILS) Experiments / Lopez A. [et al.] // Instruments. – 2022. – Vol. 6 (3). – P. 20.
2. Klanner R. Characterisation of SiPMs / R. Klanner // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2019. – Vol. 926. – P. 36–56.
3. Флусова Д.С. Моделирование отклика кремниевого фотоумножителя серии EQR-15 в фреймворке Allpix / Д.С. Флусова, Н.Р. Бикметов, А.С. Гоголев // ПромКибернетика. – 2023. – Т. 1, № 3. – С. 21–27.

# РАЗРАБОТКА ПОДХОДА ПО РАННЕМУ ОБНАРУЖЕНИЮ ВОЗГОРАНИЙ ЗА СЧЕТ АНАЛИЗА ВИДЕОПОТОКА

Глотов М.И.<sup>1</sup>, Кропотова С.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа ядерных технологий, аспирант гр. АЗ-38, e-mail: mig13@tpu.ru*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Исследовательская школа физики высокоэнергетических процессов, доцент, к.ф.-м.н., e-mail: ssk22@tpu.ru*

## Введение

Рост числа пожаров в зданиях за последние годы подчеркивает важность разработки новых методов для раннего обнаружения возгораний [1–3]. Перспективным подходом для таких целей является применение видеокамер в составе интеллектуальных систем. Данные системы позволяют выявлять возгорания при наличии внешних возмущений и способны детектировать пламя на больших открытых пространствах [4–8]. **Целью данного** исследования является обоснование возможности достоверного обнаружения очага возгорания на ранней стадии с использованием видеокамеры. Основная задача заключалась в разработке подхода к обучению модели нейронной сети, которая достоверно определяет координаты очага возгорания в помещениях на основе анализа потока видеоданных.

## Предлагаемый подход

Модель для выявления наличия пламени на изображениях, получаемых с потока видеоданных, основана на применении сверточной нейронной сети. Объектом идентификации модели являлся очаг возгорания характерный для начального этапа возникновения пожара с площадью от 100 до 400 см<sup>2</sup>. Обучающая выборка состояла из изображений объекта идентификации с разрешением 1280×720 пикселей и описания (аннотации) к каждому изображению, содержащего информацию о видимых границах очага возгорания. Изображения целевого объекта получены при проведении экспериментов, направленных на разработку систем идентификации пожаров [9], а также из открытых источников. Для повышения качества обучения модели и устойчивости идентификации динамических объектов применялись методы аугментации, заключающиеся в создании дополнительных данных через различные трансформации, такие как изменение размера целевого объекта, повороты на  $\pm 15^\circ$ , отражения, что помогает модели лучше справляться с разнообразием реальных условий. Также, при аннотировании обучающих изображений был введен класс объектов-помех, которые схожи с очагом возгорания, но не являются таковым, например, отражения огня, блики на линзе камеры, засвеченные области и источники искусственного света.

Для возможности расширения функционала разрабатываемой модели, например расчета площади очага возгорания, скорости его распространения и пр., выбрана предобученная модель сегментации экземпляров YOLOv8, которая анализирует изображение и возвращает контуры целевого объекта. По окончании обучения оценивались параметры качества (метрики): mAP50, mAP50–100 и Precision.

## Результаты и обсуждение

Проведено сравнение результатов обучения по ключевым метрикам, упомянутым ранее, для определения оптимального размера предобученной модели *нейронной сети* YOLOv8, который обеспечивает баланс между точностью и быстродействием при идентификации пламени. При обучении с использованием моделей, имеющих 3,2 и 7,2 миллиона обучаемых параметров, наблюдались частые случаи потери и повторной идентификации объектов. Стабильность идентификации является необходимым условием для снятия характеристик пожара, меняющихся с течением времени. Таким образом, для идентификации очага возгорания в режиме реального времени наиболее подходящей является модель YOLOv8 Large с точностью 0,91.

Результаты введения класса «помех» показали, что модель, не обученная на распознавание объектов, схожих с очагом возгорания, часто ошибочно интерпретирует такие объекты как пламя, что может привести к ложным тревогам и ненужным действиям в экстренных ситуациях. В отличие от нее, модель, специально обученная для этой задачи, показывает точность на 20 % выше, что позволяет значительно снизить количество ложных срабатываний и повысить надежность мониторинга в условиях реального времени.

Разработанная модель идентификации пламени, в отличие от существующего аналога [10], не только определяет наличие очага возгорания, но и уточняет его местоположение и размеры. Кроме

того, обученная модель включает функции сегментации, возвращая маску сегментации при обработке изображения. В контексте объекта «пламя» эта маска представляется в бинарном формате, представленным ниже:

$$Fire^{bin} = \begin{bmatrix} px_{00} & px_{10} & \dots & px_{m0} \\ px_{01} & px_{11} & \dots & px_{m1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ px_{0n} & px_{1n} & \dots & px_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где значение  $px$  принимает значение 0 или 1 в зависимости от наличия объекта в этом пикселе;  $n \times m$  – разрешение изображения.

Данный формат облегчает обработку результатов модели. Например, для вычисления площади очага требуется поэлементное умножение бинарной матрицы объекта на матрицу, содержащую значения реальной площади, соответствующей каждому пикселю ( $K^S$ , м/пкс):

$$S = \sum_{i=0}^{i=m} \left( \sum_{j=0}^{j=n} (px_{ij} \cdot K_{ij}^S) \right). \quad (2)$$

Предложенный подход оценивает скорость распространения пожара и расстояние до критически важных зон, что помогает установить приоритеты для локализации и тушения возгораний. Рекомендуется применять разработанную модель нейронной сети для идентификации возгораний в системе пожарной безопасности в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 1.

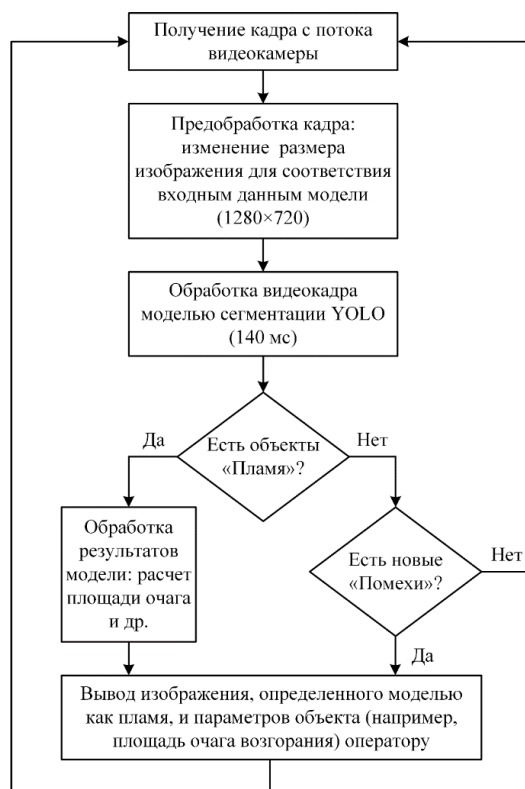


Рис. 1. Алгоритм применения модели идентификации очага возгорания в системе пожарной безопасности с использованием видекамеры

## Заключение

Установлено, что модель YOLOv8 в конфигурации Large с 25 миллионами обучающих параметров является оптимальной для идентификации возгораний на начальной стадии. Точность идентификации составила 0,91, а время обработки одного кадра – 140 мс.

Обоснована целесообразность использования модели сегментации для выявления очагов возгорания.

Рассмотрены методы повышения помехоустойчивости модели путем включения в обучающий

набор данных объектов, визуально схожих с возгоранием, (например, отражения, блики, солнечный и искусственный свет и др.).

Разработан подход к обучению нейронной сети, обеспечивающий высокую точность идентификации очагов возгорания на ранних стадиях при обработке видеоданных.

Исследование выполнено при поддержке проекта Национального исследовательского Томского политехнического университета ПИШ-НИР-2024-014.

#### **Список использованных источников**

1. Festag S. The Statistical Effectiveness of Fire Protection Measures: Learning from Real Fires in Germany // *Fire Technology*. – 2021. – V. 57. P. 1589–1609. DOI: 10.1007/s10694-020-01073-y.
2. Sheng D., Deng J., Zhang W., Cai J., Zhao W., Xiang J. A Statistical Image Feature-Based Deep Belief Network for Fire Detection // *Complexity*. – 2021. DOI: 10.1155/2021/5554316.
3. Ma C., Van Coile R., Gernay T. Fire protection costs in composite buildings for cost-benefit analysis of fire designs // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2024. – Vol. 215. – Article number 108517. DOI: 10.1016/j.jcsr.2024.108517.
4. Bu F., Gharajeh M.S. Intelligent and vision-based fire detection systems: A survey // *Image and Vision Computing*. – 2019. – Vol. 91. – Article number 103803. DOI: 10.1016/j.imavis.2019.08.007.
5. Cetin A.E., Dimitropoulos K., Gouverneur B., Grammalidis N., Gunay O., Habiboglu Y.H., Toreyin B.U., Verstockt S. Video fire detection – Review // *Digital Signal Processing*. – 2013. – Vol. 23. – P. 1827–1843. DOI: 10.1016/j.dsp.2013.07.003.
6. Hashemzadeh M., Zademehdi A. Fire detection for video surveillance applications using ICA K-medoids-based color model and efficient spatio-temporal visual features // *Expert Systems with Applications*. – 2019. – Vol. 130. – P. 60–78. DOI: 10.1016/j.eswa.2019.04.019.
7. Ahn Y., Choi H., Kim B.S. Development of early fire detection model for buildings using computer vision-based CCTV // *Journal of Building Engineering*. – 2023. – Vol. 65. – Article number 105647. DOI: 10.1016/j.job.2022.105647.
8. Yazdi M., Bouwmans T. New trends on moving object detection in video images captured by a moving camera: A survey // *Computer Science Review*. – 2018. – Vol. 28. – P. 157–177. DOI: 10.1016/j.cosrev.2018.03.001.
9. Kuznetsov G.V., Zhdanova A.O., Volkov R.S., Sviridenko A.S., Strizhak P.A. Smoke deposition and extraction in compartment fires with different ignition sources // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2024. – Vol. 187. – P. 581–592. DOI: 10.1016/j.psep.2024.05.010.
10. Евсиков А.А., Самарин И.В. Обнаружение очагов возгорания на технологических объектах с использованием сверточной нейронной сети // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2023. – Т. 32, № 5. – С. 40–48.

# FACTORS AFFECTING MAGNETOHYDRODYNAMIC GENERATOR PERFORMANCE

Myshkin V.F.<sup>1</sup>, Mohamed Bahyeldin Sopheh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tomsk Polytechnic University, School of Nuclear Engineering, Professor, email: gos100@tpu.ru

<sup>2</sup> Tomsk Polytechnic University, School of Nuclear Engineering, PhD student, email: mms23@tpu.ru

## Introduction

A Magnetohydrodynamic (MHD) power generation technique is a nonconventional electric power harvesting modality in which the electricity is generated from an ionized fluid flow under a magnetic field. The ionized fluid moving under a magnetic field works as a moving electrical conductor and the MHD generator generates electrical energy according to the Faraday's electromagnetic principle. The concept of MHD based electric power generation was first time introduced by Michael Faraday in 1832 [1]. The MHD generator use many different working fluids like Plasma and liquid metal. Here in this review we will focus on inert gas non-equilibrium plasma.

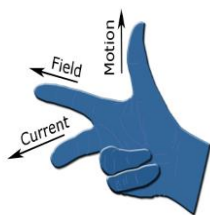


Fig. 1. Fleming's right-hand Rule-Wikipedia

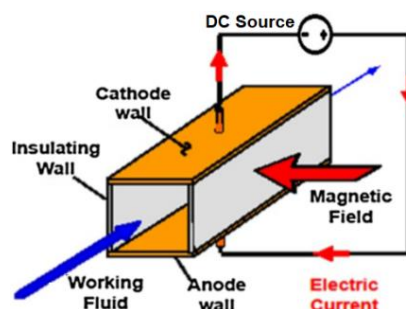


Fig. 2. Principle of a MHD power [2]

The performance of the MHD generator can be illustrated through many indicators:

**Enthalpy extraction ratio (EER):** which is defined as the ratio of the generated power to the heat input [3]. The practical target is 30 %.

**Isentropic efficiency:** which measures the increase in entropy (the unuseful energy) away from the ideal process (isentropic) through large friction, self-excited Joule heating, shock wave and a boundary layer in the disk MHD channel [6]. Practical target is 80 to 85 %.

**Plasma Uniformity:** The current streamline spacing becomes uniform in the entirety of the generator, which identifies that the plasma is uniform [5]. The current streamline becomes clustered, meaning that the streamline spacing is narrow in the high electron temperature region, indicating that the plasma structure is not uniform [5]. When the characteristic time of the variation in the electron number density is longer than the residence time of the working gas, the uniform plasma is maintained [5]. A nonuniform plasma structure appears originating from the development of ionization instability.

**Ionization degree:** The ionization degree that is adequate for an experimental-scale MHD generator is of the order of  $10^{-3}$  for seed free plasma [7].

**Plasma Ionization instability:** It is well-known that in alkali metal-seeded plasma, ionization instability occurs when the seed is partially ionized, resulting in a nonuniform plasma structure in the generator [5]. However, in Xe-seeded plasma, the ionization instability is not always caused by the partial ionization of the seed [5]. According to linear perturbation theory, plasma becomes unstable when the critical Hall parameter is smaller than the Hall parameter [5]. The ionization instability of non-equilibrium plasma decreases the conductivity and the Hall parameter of the plasma which decreases the performance of the generator [6].

**Next Factors affecting MHD generator performance:** Magnetic field, Plasma velocity, Temperature, Swirl.

## Magnetic field

According to the principle of Faraday's electromagnetic induction the amplitude of the generated e.m.f. will be proportional to the magnitude of the magnetic flux density. If the velocity of the fluid and the magnetic field density are denoted by  $V$  and  $B$  respectively, the e.m.f. induced ( $E_{ind}$ ) across the MHD conductor is given by  $E_{ind} = V \times B$ , and perpendicular to the direction of fluid motion and that of the magnetic field.

The increase in magnetic flux density leads to the increase of EER and isentropic efficiency but further increase in magnetic flux density doesn't improve the generator performance but it tends to be saturated [6]. The enthalpy extraction ratio seems to increase with the square of the magnetic flux density [7]. Plasma inhomogeneity depends on magnetic induction intensity [6]. For seed free plasma, plasma stabilization is achieved at a low magnetic flux density even when the inlet total temperature is low [7]. At a low magnetic flux density ( $B = 2$  T), the static pressure is almost the same as that at 0 T because the Lorentz force is weak. At  $B = 4$  T, the static pressure at the end of the generator increases owing to an increase in the Lorentz force. The increase in the static pressure implies flow deceleration at the downstream region. However, the deceleration cannot be so strong judging from the fact that the enthalpy extraction ratio increases with the square of the magnetic flux density [7]. At a high magnetic flux density ( $B = 3\text{--}4$  T) and a low inlet total temperature, the plasma is inhomogeneous and unstable as described above. However, the plasma becomes stable and homogeneous at a low magnetic flux density even when the inlet total temperature is low. It is well known that an inhomogeneous plasma structure with ionization instability is enhanced by a strong Hall effect. Thus, it is implied that the inhomogeneous structure with ionization instability is suppressed by the low Hall parameter under a low magnetic flux density [7]. High magnetic flux density inhibit the increase of the pressure loss which indicates that the high MHD interaction caused by the high magnetic flux density will not decrease the generator performance [6]. The increase in the magnetic flux density does not largely affect the flow velocity and electrical conductivity in the MHD [7].

### Plasma velocity

The amplitude of the generated e.m.f ( $E_{ind}$ ) will be proportional to the fluid velocity and perpendicular to the direction of fluid motion and that of the magnetic field (Eq 1). Power generation experiments utilizing nonequilibrium supersonic disk MHD generators have been conducting to demonstrate a high isentropic efficiency and a high enthalpy extraction ratio [4]. The disk MHD generator with a supersonic channel had better transient characteristics and a higher steady-state efficiency than with subsonic channel [6].

### Temperature

To take into account thermally nonequilibrium state of the plasma, a two-temperature model is used, in which all heavy particles have the same translational temperature  $T_g$ , which is called "gas temperature", while the free electrons have a translational temperature, i.e., the electron temperature  $T_e$ , different from  $T_g$ . High temperature is used in order to obtain high electrical conductivity, high power output, and high enthalpy extraction ratio. For seed free plasma, the enthalpy extraction ratio increases with increasing inlet total temperature and magnetic flux density, but saturates at a high inlet total temperature, this is because the thermal input also increases with the inlet total temperature.

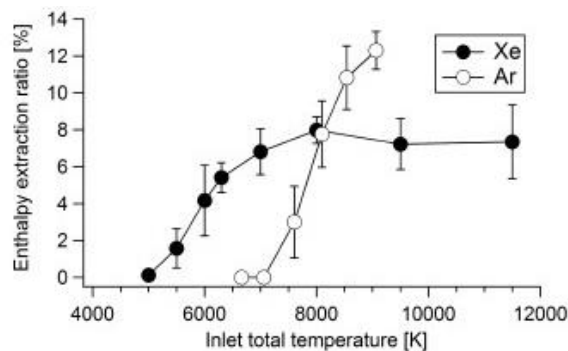


Fig. 3. EER vs inlet total temperature [7]

The inhomogeneous and unstable plasma due to ionization instability at a low inlet total temperature changes to a homogeneous and stable state with an increase in the inlet total temperature [7]. For seeded plasma, there is three zones of electron temperature (seed partial ionization, stable seed full ionization, unstable gas partial ionization at a high electron temperature) [6]. Both low and high electron temperatures will cause plasma instability thereby inhibiting the improvement of the generator performance [6]. There is a range of electron temperatures at which the characteristic time of the variation in the electron number density is longer than the residence time of the working gas (the uniform plasma is maintained) [5]. There is a range of electron

temperatures at which the plasma is stable according to linear perturbation theory [5]. The high electron temperature causes the Hall parameter to decrease [5]. The high Hall parameter is resulting from the low electron temperature [5]. The ionization instability is very sensitive to the inlet stagnation temperature [6] It is difficult to achieve full seed ionization at lower gas stagnation temperature (2000 K) [6].

## Swirl

Vanes are installed in the nozzle upstream of the generation channel, and positive swirl is produced; this results in a flow combining radial flow and rotational flow. In this case, the Hall e.m.f. is larger, and the Hall current  $J_r$  increases as well as the output density (output per generation channel volume). On the other hand, the Faraday current  $J_q$  in the negative circumferential direction decreases, and the Lorentz force  $J_\theta \times B$  (which decelerates the flow) weakens, so that the electrical conversion efficiency improves [3]. The introduction of swirl provides a considerable improvement of enthalpy extraction and isentropic efficiency [3]. With a low seed fraction and low load resistance, shock wave-free flow could be obtained. It has been confirmed that such flow, as compared to shock waves, results in higher isentropic efficiency at equal EER [3]. Although the installation of the inlet swirl vanes influences the structure of the plasma, the quite homogeneous form can be achieved under the optimum seed fraction. Moreover, the discharge structure of the swirl generator resembles that of the radial generator in the symmetric appearance. The introduction of the inlet swirl providing a high Hall parameter and electrical efficiency [4]. Swirl blades introduce circumferential velocity which enhance the flow against circumferential Lorentz force, decrease the stagnation pressure loss caused by Joule dissipation and keep the static pressure in the channel at low level [6].

## Conclusion

Through the review of the performance indicators of the MHD generators and the factors that affect them, it can be concluded that:

1. Power generation experiments utilizing nonequilibrium supersonic disk MHD generators have been conducting to demonstrate a high isentropic efficiency and a high enthalpy extraction ratio.
2. Introducing swirl has a considerable positive effect on the MHD generator performance.
3. The Temperature for both seeded and seed-free plasma has range for the positive effect on the MHD generator performance.
4. The magnetic flux density increase improves the EER and the isentropic efficiency to certain value and then saturate. On the other hand, the plasma becomes stable and homogeneous at a low magnetic flux density even when the inlet total temperature is low.

## References

1. Tushar Kanti Bera. A Magnetohydrodynamic (MHD) Power Generating System: A Technical Review // IOP Publishing. – 2020. DOI 10.1088/1757-899X/955/1/012075.
2. Al-Habahbeh O.M., Al-Saqqa M., Safi M. and Abo Khater T. Review of magnetohydrodynamic pump applications // Alexandria Engineering Journal. – 2016. – Vol. 55, № 2. – P. 1347-1358. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.03.001>.
3. Syunsuke Torii, Masashi Tsutsumi, Yoshihiro Okuno, and Hiroyuki Yamasaki. Improvement of Performance of Disk MHD Generator with Argon by Introduction of Swirl // Electrical Engineering in Japan (EEJ). – 2002. <https://doi.org/10.1002/ej.10045>.
4. Tomoyuki Murakami, Yoshihiro Okuno, and Hiroyuki Yamasaki. Achievement of the Highest Performance of Disk MHD Generator: Isentropic Efficiency of 60% and Enthalpy Extraction Ratio of 30 % // 34<sup>th</sup> AIAA Plasmadynamics and Lasers Conference. – 2012. <https://doi.org/10.2514/6.2003-4170>.
5. Kimsor Ork and Yoshihiro Okuno. Numerical Study of Plasma Behavior and Power Generation Characteristics in a Disk MHD Generator with Xenon-Seeded Neon Gas // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2023. – Vol. 51, no. 6. – P. 1518-1526. DOI: 10.1109/TPS.2023.3271952.
6. Xiuzhen Fang, Aiwu Peng and Baolin Liu. Research Progress on the Seed Plasma Disk Magnetohydrodynamic Generator // Magnetohydrodynamics. – 2022. – Vol. 58. – P. 0024-998X.
7. Manabu Tanaka, Yu Aoki, Liang Zhao and Yoshihiro Okuno. Experiments on High-Temperature Xenon Plasma Magnetohydrodynamic Power Generation // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2016. – Vol. 44, no. 7. – P. 1241-1246.

## РАСЧЕТ ТВЭЛ НА РАСТЯЖЕНИЕ В ПП «ЛОГОС-ПРОЧНОСТЬ»

Путилин А.К.<sup>1</sup>, Попов Т.А.<sup>2</sup>, Селиваникова О.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ТПУ, ИЯТШ, гр. 0А11, e-mail: akpb@tpu.ru

<sup>2</sup> ТПУ, ИЯТШ, гр. 0А11, e-mail: tap17@tpu.ru

<sup>3</sup> ТПУ, ИЯТШ, ОЯТЦ, ст.преподаватель, e-mail: selov@tpu.ru

### Введение

В современной ядерной энергетике топливные элементы (ТВЭЛ) играют ключевую роль в обеспечении безопасной и эффективной работы ядерных реакторов. Они представляют собой сердечники из ядерного топлива, заключённые в оболочку, которая защищает от радиационного воздействия и механических повреждений. Конструкция и характеристики ТВЭЛ напрямую влияют на безопасность, эффективность и экономическую целесообразность ядерных реакторов.

Одним из важнейших этапов разработки и совершенствования ТВЭЛ является моделирование их поведения в различных условиях. Это позволяет оценить их прочность, долговечность и другие важные характеристики. Для этого используются специализированные программные комплексы, такие как «Логос-Прочность».

Программный пакет «Логос-Прочность» представляет собой мощный инструмент для моделирования поведения ТВЭЛ в различных условиях. Он позволяет решать широкий спектр задач, связанных с анализом прочности, устойчивости и долговечности конструкций.

Целью представленной работы является изучения возможности использования ПП «ЛОГОС-ПРОЧНОСТЬ» для расчёта прочностных характеристик ТВЭЛ реактора ВВЭР.

### Основная часть

Одной из самых актуальных тем в атомной энергетике до сих пор остается обеспечение работоспособности ТВЭЛ. ТВЭЛ (тепловыделяющие элементы) – важнейший элемент активной зоны ядерного реактора. От их конструкции и качества во многом зависят безопасность и эффективность работы атомной электростанции. В данной статье рассматривается тема моделирования ТВЭЛ с помощью программного пакета «Логос-Прочность» на примере реактора ВВЭР и изучение их характеристик при растяжении.

Реактор ВВЭР – один из самых мощных и безопасных реакторов, используемых в атомной энергетике. Он имеет ряд преимуществ перед другими типами реакторов, таких как высокий уровень безопасности, эффективность и экономичность. Однако для обеспечения его безопасной и эффективной работы необходимо постоянно совершенствовать конструкции ТВЭЛ.

Конструкция и материалы ТВЭЛ определяются конструкцией реактора: гидродинамикой и химическим составом теплоносителя, температурными режимами, требованиями к нейтронному потоку. ТВЭЛ представляет собой герметичную трубку из циркония, легированного ниобием для увеличения пластичности. Герметичность оболочек должна сохраняться в течение всего срока работы ТВЭЛ в реакторе и последующего хранения отработавшего топлива до отправки на переработку. В связи с этим свойства материала оболочек ТВЭЛ должны удовлетворять требованиям коррозионной стойкости, прочности и пластичности в условиях нормальной работы и максимального разогрева в аварийных ситуациях. Температура плавления циркония около 1900 °С, при температуре выше 350 °С прочностные свойства ухудшаются. Толщина оболочки 0,65 мм, наружный диаметр трубки 9,1 мм. Длина ТВЭЛ 3800 мм, масса – 2,1 кг. Внутри располагаются таблетки из диоксида урана и пружина в верхней части, компенсирующая их тепловые перемещения.

Таблетки имеют плотность от 10,4 до 10,7 г/см<sup>3</sup>. Их наружный диаметр составляет 7,57 мм, а высота – 20 мм. В центре таблетки есть отверстие диаметром 1,2 мм, а края скошены фасками. Зазор между таблеткой и оболочкой, а также центральное отверстие предназначены для того, чтобы при радиационном распухании таблетки могли увеличиться в размере. Таблетки фиксируются в ТВЭЛ с помощью разрезных втулок.

Общая длина столба таблеток в ТВЭЛ составляет 3530 мм. Длина трубки ТВЭЛ равна 3800 мм, поэтому положение столба топливных таблеток в ТВЭЛ фиксируется разрезными втулками из нержавеющей стали и пружиной, которая компенсирует тепловые перемещения топлива.



Таблетки занимают 70 % объёма внутри тепловыделяющего элемента, а остальное пространство занимают газы. При изготовлении в твэлы закачивают гелий под давлением от 20 до 25 кгс/см<sup>2</sup>. В процессе эксплуатации к нему добавляются газообразные продукты деления, которые повышают давление внутри элемента до 50–80 кгс/см<sup>2</sup>.

При работе на мощности средняя температура в центре таблеток составляет 1500–1600 °С, а на поверхности – около 470 °С. Тепловая энергия выделяется с интенсивностью 450 Вт/см<sup>3</sup> в результате цепной реакции.

Все таблетки в твэле и обычно во всей ТВС имеют одинаковое обогащение, за исключением последних разработок, где в торцах есть 150 мм необогащённого урана.

В связи с ограниченными возможностями программного пакета «Логос-прочность» для разработки модели было принято следующее допущение:

1. для сокращения времени расчёта в ПП «Логос», модель твэла упрощена до трёх элементов: газ, топливо и оболочка.

Расчётная модель состоит из трёх объёмных конечных элементов.

В качестве оболочки используется модель цилиндра состоящего из упругого-пластического материала с билинейной диаграммой деформирования со следующими характеристиками:

- начальная плотность  $\rho_0=6,55$  г/см<sup>3</sup>;
- модуль упругости  $E=72,068$  ГПа;
- коэффициент Пуассона  $\nu=0,38$ .

В качестве газа используется модель упругого изотропного материала со следующими характеристиками:

- начальная плотность  $\rho_0=0,00017847$  г/см<sup>3</sup>;
- модуль упругости  $E=0,041$  ГПа;
- коэффициент Пуассона  $\nu=0,38$ .

В качестве топлива используется модель упругого изотропного материала со следующими характеристиками:

- начальная плотность  $\rho_0=10,97$  г/см<sup>3</sup>;
- модуль упругости  $E=226$  ГПа;
- коэффициент Пуассона  $\nu=0,3$ .

В начальный момент времени к поверхности торца прикладывается сила  $F=0$  Н и в течении 2 секунд возрастает до  $F=1$  ГН в направлении оси Z. Второй торец закреплён.

Модель топлива представляет собой цилиндр; модель газа представляет собой трубу; модель оболочки представляет собой трубу, закрытую с концов заглушками. Габаритные характеристики приведены в таблице.

Таблица 1

*Габаритные характеристики принятых моделей*

Параметр	Значение
Модель топлива	
Радиус, мм	3,55
Длина, мм	3809
Модель газа	
Внутренний радиус, мм	3,55
Внешний радиус, мм	4,05
Длина, мм	3809
Модель оболочки	
Внутренний радиус, мм	4,05
Внешний радиус, мм	4,55
Длина, мм	3809
Толщина заглушки, мм	1
Радиус заглушки, мм	4,55

В начале работы необходимо создать компоненты для выбранных ранее моделей газа, оболочки и топлива, после чего создать тела (рис. 1.).

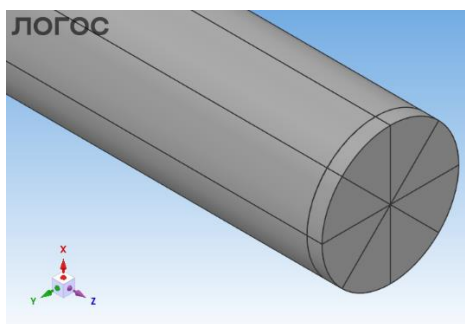


Рис. 1. Итоговые тела

Для каждого созданного тела необходимо установить сетку для дальнейшего моделирования. На следующем рисунке соответственно представлены сетки топлива, газа и оболочки (рис. 2).

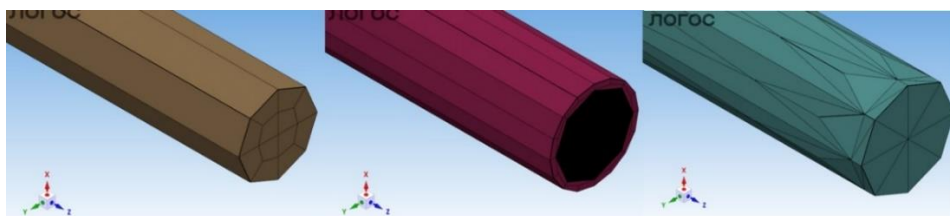


Рис. 2. Сетки тел

Далее по компонентам создаются подобласти, свойства подобластей и задаются материалы по их характеристикам. Также необходимо установить автоматический контакт на все подобласти.

На одном из концов оболочки создается набор точек, на которые будет действовать сила. На другом конце оболочки – аналогичный набор точек, которые будут закреплены.

Далее задается сила, приложенная к набору вдоль оси  $Z$ , и создается закрепление к другому набору точек по осям  $X, Y, Z$  (рис. 3, рис. 4):

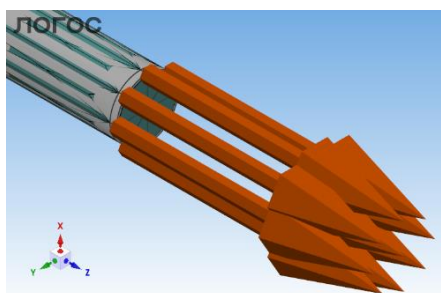


Рис. 3. Задание силы

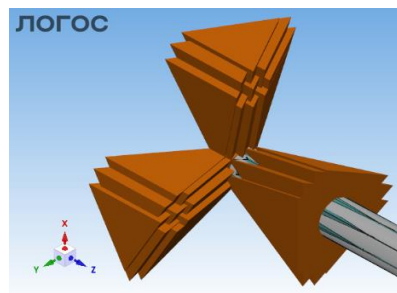


Рис. 4. Задание закрепления

## Заключение

В представленной работе выполнено исследование возможности проектирования и изучения прочностных характеристик твэлов в ПП «ЛОГОС ПРОЧНОСТЬ». На основе изученных характеристик создана упрощенная модель твэл в программном пакете «ЛОГОС-ПРОЧНОСТЬ», созданы начальные условия для расчета твэл на растяжение при нормальном режиме эксплуатации.

## Список использованных источников

1. Колпаков Г.Н., Селиваникова О.В. Конструкции ТВЭЛов, каналов и активных зон энергетических реакторов – Томск : Изд-во ТПУ, 2009. – С. 21–42.
2. Андрущечко С.А., Афров А.М., Васильев Б.Ю., Генералов В.Н., Косоуров К.Б., Семченков Ю.М., Украинцев В.Ф. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта – Москва : Изд-во ЛОГОС, 2010. – С. 177–200.
3. Белозеров В.И., Жук М.М., Кузина Ю.А., Терновых М.Ю. Физика и эксплуатационные режимы реактора ВВЭР-1000 – Москва : Изд-во НИЯУ МИФИ, 2014. – С. 147–219.
4. Горшков А.Г., Трошин В.Н., Шалашилин В.И. Сопротивление материалов – Москва : Изд-во ФИЗМАТЛИБ, 2005. – С. 251–279.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ ИРТ-3М

Пасько Д.В.<sup>1</sup>, Смольников Н.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НИ ТПУ, ИЯТШ, гр. 0АМ31, e-mail: dvp52@tpu.ru

<sup>2</sup> НИ ТПУ, УНЦ ИЯР, Инженер-физик, e-mail: nvs38@tpu.ru

## Введение

Исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т – это реактор бассейнового типа с использованием в качестве замедлителя, теплоносителя и верхней защиты обессоленной воды [1]. Активная зона реактора расположена в бассейне под водой на глубине 6 м и набрана из 20-ти тепловыделяющих сборок (ТВС) типа ИРТ-3М и 36 металлических бериллиевых блоков.

Одной из ключевых задач при обосновании безопасности реакторной установки является определение гидродинамических характеристик активной зоны, которые позволяют оценить теплотехническую надёжность и условия эксплуатации тепловыделяющих сборок. Проведение моделирования теплогидравлических процессов активной зоны в детальной структуре невозможно без создания прецизионной расчетной модели ТВС, поэтому целью данной работы является определение гидродинамических характеристик ТВС типа ИРТ-3М.

## Описание алгоритма

Расчетная модель должна обладать высокой точностью и сходимостью с эксплуатационными параметрами, поэтому разработка трехмерных моделей ТВС осуществлялась на основе конструкторской документации. Для подтверждения корректности моделей проведено сопоставление результатов моделирования с экспериментальными данными.

В работе [2] проводились экспериментальные исследования с целью определения скорости теплоносителя в зазорах. Для этого был разработан специальный гидравлический стенд, колонка которого имитировала участок корпуса активной зоны, а также для имитации соседних ТВС были установлены пластины, благодаря которым движение теплоносителя соответствовало реальным условиям. Циркуляцию воды обеспечивал центробежный насос с максимальным расходом 58,2 м<sup>3</sup>/ч.

Поперечный разрез колодки гидравлического стенда показан на рис. 1 [2].

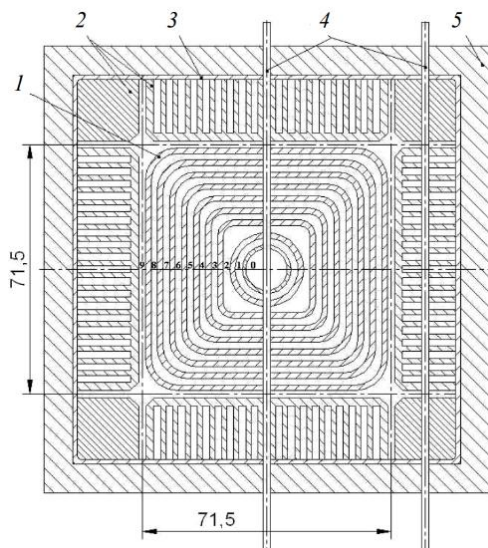


Рис. 1. Поперечный разрез колонки гидравлического стенда:

1, 2 – макет и имитаторы ТВС; 3 – обечайка колонки; 4 – датчики; 5 – корпус колонки

Гидравлические характеристики рассчитывались на основе значений динамического напора в каждом зазоре, после чего определялась скорость теплоносителя согласно (1).

$$W_i = \varphi \sqrt{2gH_{\text{дин } i}}, \quad (1)$$

где  $\varphi = 0,68$  – коэффициент скорости для сжатого сечения;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$H_{дин i}$  – скоростной напор, м.

Авторы работы [2] отмечают, что при перепаде давления, равном 24 кПа, полный объемный расход теплоносителя через восьмитрубную ТВС ИРТ-3М составляет 28,4 м<sup>3</sup>/ч, средняя скорость в зазорах ТВС 2,6 м/с.

Моделирование проводилось с помощью программного комплекса Логос Аэро-Гидро. В качестве решения уравнения движения вязкой жидкости использовался алгоритм SIMPLE в разделенном решателе Гидро.

Гидравлическая колонка, включающая в себя: ТВС, имитаторы, обечайку и корпус была воссоздана с учетом всех геометрических особенностей (рис. 2)

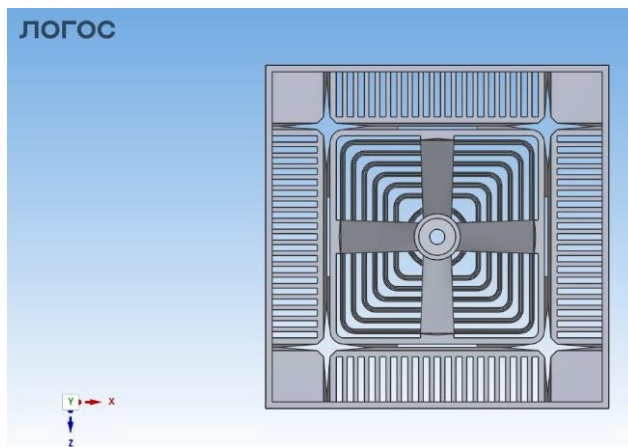


Рис. 2. Колонка гидравлического стенда с имитаторами ТВС

При проведении моделирования гидродинамических процессов использовались следующие начальные условия:

- статическое давление равно одной атмосфере ( $P = 101325$  Па);
- расход теплоносителя через колонку, соответствующий максимальной подаче центробежного насоса из эксперимента ( $Q = 58,2$  м<sup>3</sup>/ч) [2].

Результаты моделирования и сравнение полученных результатов с экспериментальными значениями авторов [2] представлено в таблице 1.

Таблица 1

*Экспериментальные и расчётные гидравлические параметры для колонки с восьмитрубной ТВС*

Параметр	Экспериментальные значения	Результаты моделирования в ПП «Логос»
Перепад давления, кПа	$24 \pm 1,44$	$24,18 \pm 0,0039$
Расход через восьмитрубную ТВС, м <sup>3</sup> /ч	$28,4 \pm 1,704$	$30,02 \pm 0,00223$
Средняя скорость в зазорах, м/с	$2,6 \pm 0,156$	$2,48 \pm 0,00232$

Расчетные значения попадают в доверительный интервал экспериментально определенных гидравлических параметров, что свидетельствует о корректности разработанных моделей.

С целью определения гидравлических характеристик шеститрубной ТВС было проведено аналогичное моделирование (рис. 3).

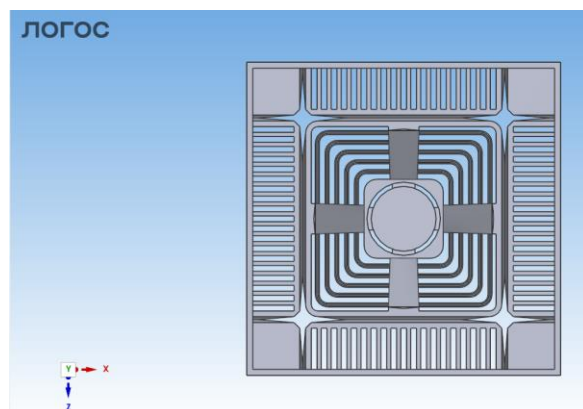


Рис. 3. Колонка гидравлического стенда с шеститрубной ТВС

В результате моделирования были получены следующие гидравлические характеристики шеститрубной ТВС:

- перепад давления, равный 25,07 кПа;
- полный объемный расход теплоносителя, равный 29,58 м<sup>3</sup>/ч;
- средняя скорость теплоносителя в зазорах составила 2,58 м/с.

### Заключение

В рамках проведения исследования разработаны трехмерные модели восмитрубной и шеститрубной ТВС типа ИРТ-3М.

Проведено численное моделирование гидравлических характеристик ТВС ИРТ-3М с целью верификации разработанной модели в ПП «Логос» с использованием алгоритма SIMPLE в разделенном решателе Гидро. По результатам сопоставления полученных значений с экспериментальным исследованием была подтверждена корректность моделей.

### Список использованных источников

1. Глухов Г.Г., Диденко А.Н. Ядерный реактор ИРТ-Т НИИЯФ ТПИ в научных и прикладных исследованиях // Атомная энергия. – 1988. – Т. 64, №. 5. – С. 366–370.
2. Насонов В.А., Рязанцев Е.П., Талиев А.В. Яшин А.Ф. Определение скорости воды в зазорах ТВС ИРТ-3М, -4М // Атомная энергия. – 2011. – Т. 110, №.6. – С.317–321.

# СОЗДАНИЕ КЛАССА ОБРАБОТКИ БЛОКЧЕЙН-ТРАНЗАКЦИЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТИ УМНЫХ СЧЕТЧИКОВ НА PYTHON

Демин А.Ю.<sup>1,2</sup>, Дмитрийчук Д.И.<sup>3</sup>, Зарубин В.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИШИТР, ОИТ, ad@tpu.ru

<sup>2</sup>НИ ТГУ, ИПМКН, каф. ТОИ, ad@tpu.ru

<sup>3</sup>НИ ТПУ, ИШИТР, 8К11, did7@tpu.ru

<sup>4</sup>НИ ТПУ, ИШИТР, 8К13, vaz30@tpu.ru

## Введение

С развитием технологий умные счётчики стали неотъемлемой частью современных энергетических систем, позволяя точно отслеживать и контролировать потребление электроэнергии. Эти устройства активно внедряются для повышения эффективности и снижения затрат, предоставляя данные для централизованной обработки. Однако при их использовании важнейшими аспектами остаются безопасность и прозрачность передаваемой информации, что критично для предотвращения мошенничества и ошибок учёта.

Одновременно с этим блокчейн-технологии начали активно распространяться за пределы криптовалют и нашли широкое применение в таких областях, как энергетика, логистика и здравоохранение. В энергетике блокчейн используют для совершенствования систем учёта и контроля за потреблением электроэнергии с помощью умных счётчиков. Децентрализованная структура блокчейна обеспечивает неизменность и сохранность записей, высокий уровень безопасности, а также возможность автоматизации процессов без участия посредников.

В последние годы был проведён ряд исследований, посвящённых интеграции блокчейна с умными счётчиками [1]. Эти работы показали, что блокчейн может значительно улучшить управление данными, защитив их от манипуляций и обеспечив прозрачность операций [2]. Ознакомившись с этими статьями, мы разработали алгоритм, который реализует данную концепцию, позволяя эффективно использовать блокчейн для управления данными в сети умных счётчиков.

В данной работе предлагается реализация этой концепции с использованием языка программирования Python и асинхронного веб-фреймворка FastAPI. Асинхронная архитектура системы позволяет обрабатывать множество параллельных запросов, повышая масштабируемость и эффективность системы. Это решение позволяет взаимодействовать с большим количеством умных счётчиков, обеспечивая бесперебойную обработку данных и выполнение блокчейн-транзакций в реальном времени.

Целью работы является создание системы, где каждый счётчик функционирует в качестве узла сети, а информация о потреблённой электроэнергии фиксируется в блокчейне, обеспечивая полную прозрачность и безопасность расчётов за электроэнергию.

## Концепция использования

Блокчейн-архитектура для умных счётчиков, реализованная на Python с использованием асинхронного FastAPI, создаёт децентрализованную сеть, в которой каждый счётчик выполняет роль узла. Эти устройства собирают данные о потреблении электроэнергии и записывают их в блокчейн, что гарантирует точность, своевременность и защиту от манипуляций с информацией. Благодаря этому, данные становятся неизменяемыми и доступными всем участникам сети, что делает систему идеальной для энергетических сетей, где важны прозрачность и безопасность.

Асинхронная архитектура значительно повышает производительность системы, обрабатывая запросы и майнинг блоков параллельно. Каждый блок содержит информацию о потреблении за определённый период. В основе системы лежат механизмы консенсуса, такие как Proof of Stake (PoS) или Proof of Authority (PoA), которые обеспечивают безопасность и устойчивость: в PoS транзакции подтверждают узлы с наибольшими стейками, а в PoA – авторизованные участники, что упрощает управление сетью и снижает нагрузку.

Для обеспечения безопасности данные подписываются приватными криптографическими ключами каждого счётчика и передаются по защищённым каналам связи (например, с использованием TLS). Асимметричное шифрование, при котором данные шифруются публичным ключом сети, обеспечивает дополнительную защиту от перехвата.

Асинхронный подход FastAPI позволяет системе обрабатывать множество параллельных запросов, ускоряя запись данных в блокчейн. В случае отказа узла система автоматически пересчитывает

блоки и проверяет их целостность с помощью хешей. Дублирование данных на нескольких узлах повышает отказоустойчивость, а резервное копирование на внешние сервера или в облачные хранилища обеспечивает дополнительную надёжность.

В конце каждого расчётного периода (например, каждый месяц) блокчейн фиксирует данные о потреблении и автоматически подсчитывает итоговую стоимость электроэнергии для пользователей на основе умных контрактов. Счета отправляются автоматически, а данные о расходах сохраняются в блокчейне, что обеспечивает прозрачность и исключает ошибки.

Таким образом, предложенная блокчейн-архитектура, основанная на асинхронной обработке данных и современных механизмах безопасности, гарантирует высокую производительность, неизменность данных и автоматизацию расчётов.

## Описание алгоритма

Основным элементом системы является класс Block, который содержит идентификатор счётчика, показания потребления, proof и ссылку на предыдущий блок через его хеш. Все блоки хранятся в цепочке, что обеспечивает целостность данных.

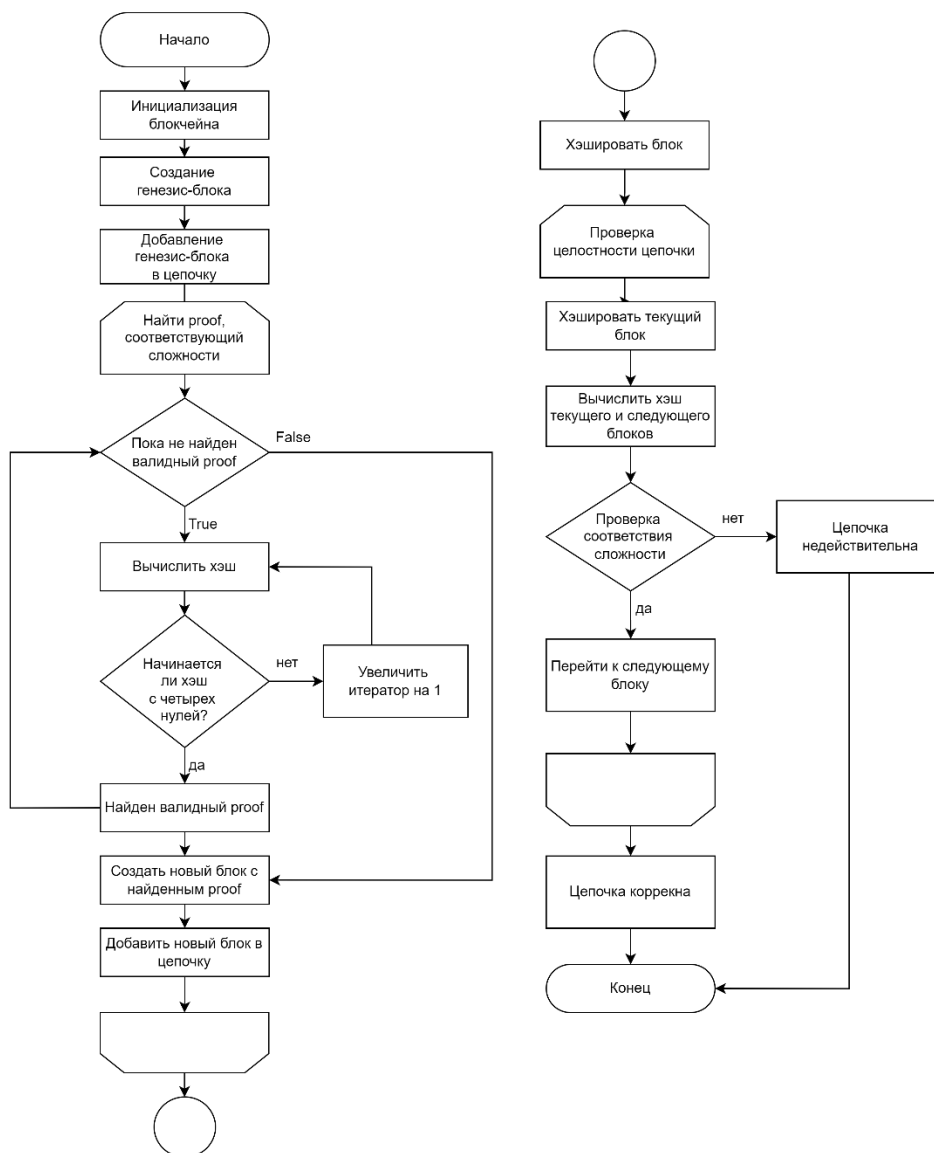


Рис. 1. Блок-схема работы алгоритма

Алгоритм основан на асинхронных функциях, что повышает производительность и масштабируемость. Блоки майнятся с помощью алгоритма Proof of Work (PoW), который требует нахождения proof, удовлетворяющего заданной сложности. В процессе майнинга используется асинхронная операция, которая не блокирует основную программу, повышая эффективность системы.



Каждый блок хешируется алгоритмом SHA-256 для проверки целостности данных. Асинхронный метод `is_chain_valid` проверяет корректность цепочки блоков, сравнивая хеши и `proof`, что предотвращает нарушения.

Кроме того, FastAPI предоставляет API конечные точки (эндпоинты) для взаимодействия с блокчейном: запросы цепочки блоков, проверка её целостности, майнинг новых блоков и получение истории потребления. Вся обработка данных, включая майнинг и валидацию, выполняется асинхронно, что делает систему подходящей для работы с большими объёмами данных в реальном времени.

Таким образом, этот алгоритм эффективно сочетает блокчейн-технологии и асинхронную обработку данных для создания надёжной и безопасной системы учёта электроэнергии.

## Тестирование системы

Тестирование системы блокчейна для умных счётчиков было проведено с использованием фреймворка `pytest` для обеспечения корректной работы всех аспектов блокчейн-алгоритма, включая создание блоков, их валидацию и взаимодействие через API. Для проверки асинхронного кода применялось расширение `pytest.mark.asyncio`, что позволило тестировать процессы майнинга и валидации блоков, построенные на асинхронных операциях.

Одним из ключевых аспектов тестирования стало создание и проверка генезис-блока, который инициализирует цепочку. Важно было убедиться, что первый блок содержит корректные значения, такие как индекс, идентификатор счётчика, нулевое потребление и отсутствие предыдущего хеша. Следующие тесты проверяли корректность майнинга новых блоков, а также соблюдение требований доказательства работы (Proof of Work), где каждый новый блок должен иметь уникальное доказательство по сравнению с предыдущим.

Проверка целостности цепочки блоков проводилась с использованием метода `is_chain_valid`, который гарантировал, что каждый блок ссылается на правильный предыдущий блок. Для оценки устойчивости системы к ошибкам также был разработан тест, который умышленно искажал хеш предыдущего блока, после чего система корректно отмечала цепочку как недействительную.

Тестирование API системы также было критически важным. Были проведены тесты на создание нового блока через POST-запрос к соответствующей конечной точке. Система возвращала успешный ответ с данными о блоке при корректном выполнении запроса. Другие тесты включали запрос всей цепочки блоков и проверку валидации через соответствующие GET-запросы, что обеспечивало возможность внешней проверки состояния блокчейна.

Важным аспектом тестирования стало покрытие кода. Большинство ключевых модулей достигли уровня покрытия более 90 %, что указывает на высокую степень проверяемости системы. Это свидетельствует о надёжности системы и её готовности к эксплуатации в условиях реальных данных и внешних запросов.

## Результаты

В результате был создан блокчейн на Python и API, по которому он будет принимать данные от счётчиков. Умные счетчики передают свои показания через специальную конечную точку, где сервер обрабатывает эти данные и создает новый блок (рис. 2). Каждый блок содержит уникальную информацию: идентификатор счетчика, количество потребленной электроэнергии и другие параметры. Процесс создания блока включает вычисление доказательства работы (`proof-of-work`), которое подтверждает корректность блока. Новый блок связывается с предыдущим через хеш, что гарантирует целостность и непрерывность цепочки блоков.



```
Code    Details
200

Response body
{
  "message": "Блок успешно создан!",
  "block": {
    "index": 1,
    "timestamp": "2024-10-12 20:08:38.713205",
    "meter_id": "1",
    "consumption": 100,
    "proof": "e811",
    "previous_hash": "WbU8Ddc1a96c83bae2088a0844b3c8c5a133d1a75b0a7c795a7c78d9276"
  }
}

Response headers
content-length: 348
content-type: application/json
date: Sat, 12 Oct 2024 13:08:37 GMT
server: uvicorn

Responses
Code    Description    Links
200    Successful Response    No links
```

Рис. 2. Результаты работы при создании блока



После успешного создания блок добавляется в блокчейн, обновляя его структуру. Система предоставляет несколько конечных точек API, с помощью которых компании могут запросить полную цепочку блоков (рис. 3), получить историю потребления электроэнергии по конкретному счетчику или проверить целостность блокчейна. Встроенная проверка цепочки гарантирует, что данные остаются неизменными и защищены от манипуляций. Таким образом, система обеспечивает надежную и прозрачную запись показаний электроэнергии, поддерживая неизменность и защищенность данных.

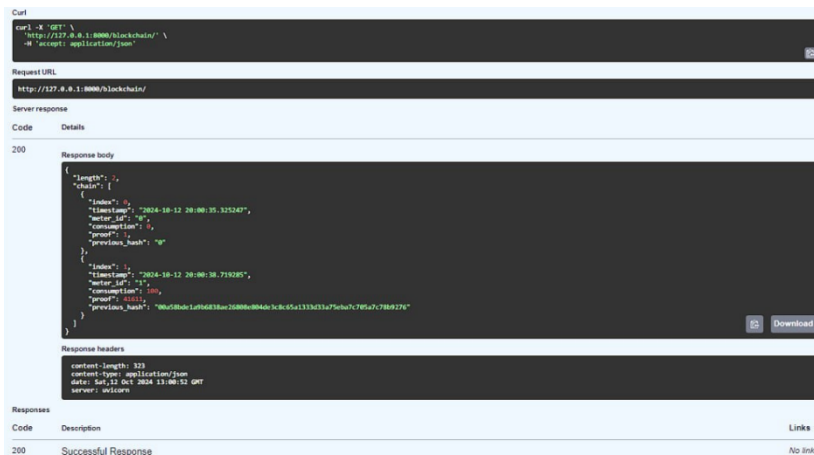


Рис. 3. Получение общей цепи блокчейна

## Заключение

Разработанная система блокчейна для сбора данных от умных счетчиков электроэнергии обеспечивает надежную, защищенную и прозрачную платформу для обработки и хранения информации. Использование технологии блокчейна позволяет гарантировать неизменность данных, а механизм доказательства работы (proof-of-work) защищает систему от подделок и манипуляций. Благодаря асинхронной архитектуре FastAPI, система эффективно обрабатывает запросы, поддерживая высокую скорость работы и целостность цепочки блоков. Данная технология может значительно упростить и обезопасить процесс учета электроэнергии для электрокомпаний, обеспечивая достоверность и прозрачность учета потребления.

## Список использованных источников

1. Белкин П.А., Посмаков Н.П., Ростовский Н.С. Применение технологии блокчейн в электроэнергетике как связующей цифровой технологии при переходе на децентрализованную генерацию // Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».
2. Фазульянов Д.В. Проектирование информационной системы учета и оплаты услуг ЖКХ на основе технологии блокчейн // Электронный научный журнал «Вектор экономики», 2020. – № 6.
3. Как Python применяется в блокчейн. – Текст : электронный // Proglib.io. – URL: <https://proglib.io/p/kak-python-primenyaetsya-v-blokcheyn-2021-03-19> (дата обращения: 29.09.2024).
4. Avgeros N. Building a simple blockchain with FastAPI: a beginner's guide. – Текст : электронный // Medium. – URL: <https://medium.com/@nik.avgeros/building-a-simple-blockchain-with-fastapi-a-beginners-guide-9024eff3369d> (дата обращения: 05.10.2024).
5. Как работает блокчейн: примеры на Python // Habr.com. – URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/589371/> (дата обращения: 29.09.2024).

# РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИЙНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕПЛООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ РЕАКТОРА БРЕСТ-300 В СРЕДЕ ЛОГОС-АЭРОГИДРОДИНАМИКА

*Павлов С.В.<sup>1</sup>, Семенов А.О.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ТПУ, ИЯТШ, зр.0А11, e-mail: svp36@tpu.ru

<sup>2</sup> ТПУ, ИЯТШ, ОЯТЦ, доцент, e-mail: semenov\_ao@tpu.ru

## **Введение**

Разработка и эксплуатация реакторов любого типа связана с решением ряда конструкционных и эксплуатационных задач. Данные проблемы, чаще всего, связаны с необходимостью осуществления контроля за безопасностью эксплуатации реакторной установки. Именно осознание возможных ситуаций, последствия которых могут приводить к выходу реактора из строя или аварийным ситуациям, служит основой для разработки соответствующих нормативно-правовых документов и датчиков, обеспечивающих контроль за данными системами. Однако, не всегда можно в полной мере предсказать всю полноту событий, которые могут произойти на реакторе, способных повлиять на его стабильность. К тому же многие реакторы со временем модернизируются под использование новых материалов для увеличения прочностных характеристик, тепловой и энергетических мощностей. Поэтому, важным этапом при создании любого прототипа является компьютерное моделирование процессов, которые могут повлиять на стабильность работы реактора.

Одним из таких процессов является коррозия внутренних поверхностей активных зон, в следствии работы в агрессивных средах под воздействием высоких температур и давлений. Под воздействием коррозии происходит разрушение части поверхностей труб и накопление в данных местах, и по течению теплоносителя, коррозионных отложений. В зависимости от параметров среды в первом или втором контурах реактора, интенсивность протекания данного процесса может различаться, однако данный процесс будет оказывать влияние на теплообмен между контурами, приводя к уменьшению теплового КПД установки.

Моделирование процесса коррозии на внутренних поверхностях и исследование его влияние на теплообмен позволяют оценивать изменение процесса передачи тепла от первого контура ко второму и эффективность работы реакторной установки на время топливной кампании.

## **Основная часть**

БРЕСТ-300 – (Быстрый Реактор Естественной безопасности или Быстрый Реактор Естественной безопасности со Свинцовым теплоносителем) – реактор на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем и ТВС на основе СНУП-топлива. Генеральным конструктором и научным руководителем проекта по созданию данного реактора выступает НИКИЭТ. Данный реактор разрабатывается на тепловую мощность – 700 МВт с двухконтурной системой отвода тепла, глубоким выгоранием топливной смеси – до 10 % за кампанию протяженностью до 5 лет, с околокритическими параметрами пара перед турбиной (давление более 220 атм., температура – более 500 °С) и высоким КПД-нетто – 43 %.

Применение свинца в данной установке обусловлено целым рядом преимуществ данного теплоносителя: свинец не вступает во взаимодействие с водой или воздухом, не подвержен горению и имеет высокую радиационную стойкость (слабо активируется в радиоактивной среде), имеет высокую температуру плавления (600 К – 327 °С), низкую массовую теплоемкость и ограниченную скорость циркуляции. Помимо этого, свинец является весьма распространённым и доступным материалом с хорошо налаженным производством. Поэтому на данный момент активно разрабатываются установки на свинцовом теплоносителе.

Примером установки для исследования свойств свинца, на основании данных которой выполняются расчеты является экспериментальный стенд СПРУТ (стенд для проведения работ по универсальной тематике), представляет собой систему, состоящую из двух контуров: контура свинца и контура воды высокого давления. Технологическая схема установки представлена на рис. 1. Материал теплопередающих трубок установки соответствует материалу натуральных парогенерирующих труб, примененных в проекте РУ БРЕСТ-ОД-300. Наружный диаметр теплопередающих труб – 17 мм, толщина стенки теплопередающей трубы – 3,0 мм.

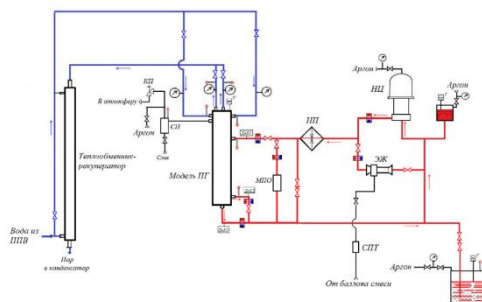


Рис. 1. Схема экспериментальной установки СПРУТ

Как показали исследования на установках, связанные с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ), помимо ряда преимуществ (хороших теплофизических и ядерных свойств материала, негорючести и отсутствия большого давления в первом контуре) у установок на ТЖМТ есть главный недостаток – процесс жидкометаллической коррозии стали и загрязнения трактов циркуляции теплоносителя примесями. Изначально, основной проблемой являлась загрязнение циркуляционных трактов, но в ходе разработки методов очистки более важный характер приобрела проблема обеспечения коррозионной стойкости сталей. Поэтому, возник вопрос о подборе оптимальных параметров для эксплуатации ТЖМТ, для того чтобы с одной стороны не допускать забивания каналов коррозионными оксидами стали и свинца, а с другой – не перейти в режим жидкометаллической коррозии. Основными причинами корродирования ТЖМТ являются:

- взаимодействие ТЖМТ и конструкционных материалов (КМ) с атмосферой в период заполнения контура теплоносителем;
- растворение в свинце компонентов КМ во время эксплуатации;
- разгерметизация контура во время ремонтных работ, течей парогенераторов (ПГ) или аварии.

При этом, известно, что образующаяся оксидная пленка – двуслойная (рис. 2). Ее состав изменяется от железистой шпинели ( $Fe_3O_4$ ) до хромистой шпинели ( $Fe_3O_4+FeCr_2O_4$ ). При этом тип формирующейся пленки зависит от температуры. Так, при 500-550 °С диффузия железа преобладает над диффузией хрома. Взаимодействуя с насыщенным кислородом свинца, образуется оксид железа. Вследствие чего формируется железистая шпинель. При температурах 580-620 °С начинает увеличиваться подвод хрома к оксидной пленке, вследствие чего формируется слабопроницаемая для железа хромистая шпинель. В условиях насыщения кислородом эти два слоя приблизительно равны по толщине, но при более точных измерениях магнетитный слой ( $Fe_3O_4$ ) обычно толще шпинельного на 15% – 30%.

Для предотвращения аврийных ситуаций, необходимо поддерживать активность кислорода в узком диапазоне: верхний уровень данного диапазона определяется началом формирования магнетита, а нижний – условиями диссоциации образованных пленок на поверхности стали.

Предотрашение данных процессов является важной задачей, так как формирование оксидных пленок сказывается на прочности и теплодаче контура, а последующая диссоциация приводит к загрязнению сплава и ухудшению свойств теплоносителя.

Одной из мер борьбы является формирование защитных оксидных пленок на внутренней поверхности труб из хрома, кремния, циркония, алюминия и др. элементов. Главными условиями для выбора данных оксидов является их слабая растворимость в теплоносителях на основе свинца и протекторные свойства по отношению к коррозии.

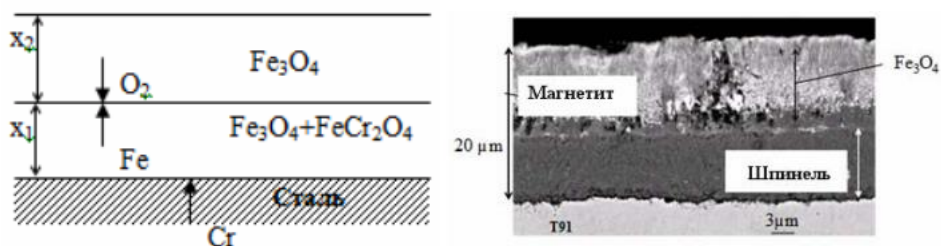


Рис. 2. Условная схема двуслойной пленки на стали в свинце и фотография пленки на поверхности артезитной стали

В рамках статьи [4] проводилось исследование по формированию оксидных пленок при разных концентрациях кислорода для вышеприведенных реакторов с использованием сплава ферромагнитной стали Т91. Данная сталь по своему составу похожа на отечественную разработку 10X15H9C3B1-Ш (ЭП 302-Ш) применяемую на ректоре БРЕСТ-300.

В ходе экспериментов со сталью Т91 в свинцово-висмутовой эвтектике с массовым содержанием  $10^{-6}$  % масс. оксида в свинце в температурном диапазоне 420-550 °С на протяжении более 4000 часов было получено эмпирическое выражение, для определения толщины формирующегося слоя оксидных пленок:

$$\delta_s(t, T) = (-0,987 + 2,54 \cdot 10^{-3} \cdot T) \cdot \sqrt{t}, \quad (1)$$

где  $\delta_s$  – толщина оксидного слоя, мм;

$t$  – время прошедшее с начала процесса, ч;

$T$  – температура свинца, °С.

В связи с ограниченными возможностями программного пакета «Логос- Аэрогидродинамика» для разработки модели было принято следующее допущение:

- для сокращения времени расчета в ПП «Логос-Аэрогидродинамика», модель трубы теплообменника упрощена до трех элементов: теплоноситель, коррозионный слой и труба теплоносителя.

Первичный расчет производится без учета коррозионного слоя.

В качестве параметров внешней трубы задавались свойства стали 10X15H9C3B1-Ш (ЭП 302-Ш):

- теплоемкость –  $C_p = 460$  Дж/(кг·К);
- коэффициент теплопроводности –  $\lambda = 15$  Вт/(м·К);
- плотность –  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>.

В качестве параметров теплоносителя задавались свойства жидкого свинца:

- теплоемкость –  $C_p = 147,3$  Дж/(кг·К);
- коэффициент теплопроводности –  $\lambda = 35,3$  Вт/(м·К);
- молекулярная вязкость –  $2,6$  кг/(м·с)
- плотность –  $\rho = 10360$  кг/м<sup>3</sup>.

Модель теплоносителя представляет собой цилиндр; модель трубы представляет собой трубу.

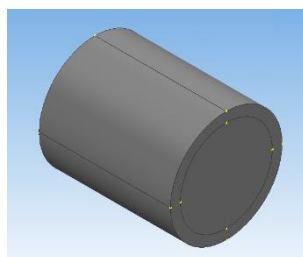
Габаритные характеристики приведены в таблице.

Таблица 1

*Габаритные характеристики принятых моделей*

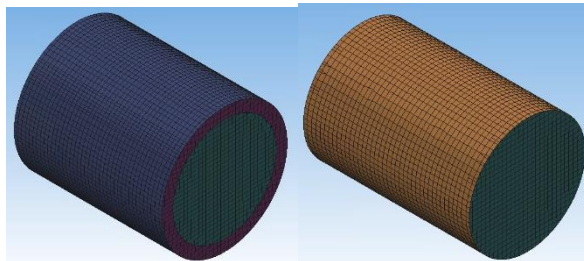
Параметр	Значение
Модель теплоносителя	
Радиус, мм	14
Длина, мм	20
Модель трубы	
Внутренний радиус, мм	14
Внешний радиус, мм	17
Длина, мм	20

В начале работы необходимо создать компоненты для выбранных ранее моделей, после чего создать тела (рис. 3).



*Рис. 3. Геометрическая модель двух цилиндров*

Для каждого созданного тела в модели необходимо установить сетку для дальнейшего моделирования (рис. 4).



*Рис. 4. Примеры поверхностной сетки*

Далее по регионам присваиваются свойства и задаются граничные в зависимости от условия задачи. После чего производится расчет модели.

### **Заключение**

В представленной работе выполнено исследование причин возникновения коррозии в жидкометаллическом теплоносителе, состав коррозионной пленки и возможности моделирования и изучения теплофизических и гидродинамических характеристик труб контуров БРЕСТ-300 в ПП «ЛОГОС – АЭРОГИРОДИНАМИКА». На основе изученных характеристик создана упрощенная модель фрагмента трубы первого контура, заданы граничные условия и физические параметры слоев.

### **Список использованных источников**

1. Ядерная энергетика. Проблемы. Решения / Под ред. М.Н. Стриханова. – В 2-х частях. – Часть 1. – М. : ЦСПиМ, 2011. – 424 с.
2. Грабежная В.А. Расчетно-экспериментальное исследование работы модели парогенератора БРЕСТ-ОД-300 / Михеев А.С., Штейн Ю.Ю., Семченков А.А. – Москва : Известия вузов, Ядерная энергетика, № 1, 2013. – С.101–146.
3. Алексеев В.В., Варсеев Е.В., Орлова Е.А. Расчетная модель процесса образования двухслойного оксидного покрытия на поверхности стали в свинцовом теплоносителе / В.В. Алексеев, Е.В. Варсеев, Е.А. Орлова // Известия вузов. Физика, 2013. – С. 79–86.
4. Вайзенбургер А. Коррозия сталей и их защита в ядерных реакторах, охлаждаемых сплавами на основе свинца / В.В. Алексеев, Вайзенбургер А., Мюллер Г. и др. // Вопросы атомной науки и техники. серия: ядерно-реакторные константы. – Карлсруэ : Технологический институт Карлсруэ, 2016. – С. 52–63.
5. Логос-Аэрогидродинамика / [Электронный ресурс]. – URL: <file:///C:/Programs/LOGOS/DOCS/RUS/index.htm#%3E%3Ecmd=1%3E%3Epan=2> (дата обращения: 12.10.2023)

## ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

*Бернякович Е.А.  
НИ ТПУ, ИШЭ, 5АМ41, eab72@tpu.ru*

### **Введение**

Регулирование частоты для солнечных электростанций не является основной задачей, поэтому на практике солнечные электростанции (СЭС) участвует в регулировании частоты не постоянно, а только по необходимости.

Для того, чтобы подобрать наилучший вариант использования СЭС была поставлена цель: изучение и выбор наиболее эффективного подхода к регулированию частоты с помощью солнечных электростанций. Также, он должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к системам регулирования.

### **Подходы к регулированию частоты в ЭЭС с помощью СЭС**

Солнечные электростанции имеют не малый потенциал для участия в регулировании частоты энергосистемы. Как правило, СЭС имеют возможность быстро изменять свою мощность в зависимости от изменений в спросе на электроэнергию, что позволяет им эффективно регулировать частоту энергосистемы.

При этом, необходимо учитывать, что погодные условия влияют на работу СЭС, их мощность может колебаться не только в зависимости от времени года, но и в течение дня. Для обеспечения устойчивости энергосистемы необходимо иметь механизмы управления и согласования работы СЭС с другими источниками энергии.

С увеличением доли солнечной энергии в энергосистеме перспективы СЭС в регулировании частоты будут становиться с каждым разом более значимыми. Для реализации задуманного важно развивать технологии хранения энергии и совершенствовать системы управления, чтобы обеспечить эффективную и стабильную работу солнечных электростанций при их участии в регулировании частоты энергосистемы. Первым способом является использование запасенной ранее энергии. Считается, что любой генератор участвует в регулировании частоты, когда его мощность изменяется в зависимости от условий нагрузки и, следовательно, уравнивает генерацию и спрос. Из-за высокой стоимости солнечных панелей проводятся исследования по извлечению максимальной мощности с использованием методов МРРТ (метод слежения за точкой максимальной мощности) [1]. Ученые в своем исследовании [2] сравнили немалое количество различных методов по фотоэлектрическим системам, что указывает на стремление к достижению максимальной эффективности солнечной панели. При помощи таких алгоритмов МРРТ выходная мощность солнечной панели поддерживается на высоком уровне при изменениях температуры и освещенности, что минимизирует влияние на регулирование частоты. Внедрение соответствующего управления через систему хранения батарей поможет эффективно справиться с колебанием частоты, но затраты на аккумуляторные батареи (свинцово-кислотные, литий-ионные и др.), их обслуживание и замену, представляют собой дополнительные немалые финансовые расходы. Также, условия холодного климата России, нежели южных стран, значительно сокращают срок их эксплуатации, что тоже подразумевают собой дополнительные расходы. Следовательно, можно сделать вывод – в некоторых случаях хранение энергии экономически нецелесообразно. Хотя, в быстро развивающемся Китае установленная мощность ВИЭ превысила 1200 ГВт: вырабатываемая мощность сильно превышает возможности хранения (на данный момент установленная емкость батарей достигла всего 44 ГВт), что говорит о необходимости изготовления и эксплуатации аккумулирующих устройств. Несмотря на изученный недостаток, с увеличением важности регулирования частоты в ЭС с помощью возобновляемых источников энергии, необходимо перенести часть функций аккумулирующих батарей непосредственно на солнечные панели.

Также, существует метод использования двухслойного конденсатора для запаса энергии. Колебания частоты в фотоэлектрической системе, подключенной к сети, снижаются с помощью электрического двухслойного конденсатора (ЭДК), в котором накопление энергии происходит преимущественно за счет двухслойной емкости. Данная идея заключается в управлении скоростью нарастания мощности фотоэлектрической системы. ЭДК поглощает колебания мощности и управляет скоростью нарастания мощности на основе скользящего среднего значения мощности фотоэлектрической системы [3]. Несмотря на свои преимущества, ЭДК также имеет ряд значительных для СЭС минусов.

Помимо ограниченной долговечности, чувствительности к влажности выделим основные проблемы и представим их в таблице 1.

Таблица 1

*Недостатки использования ЭДК*

	<b>Недостаток</b>	<b>Описание</b>
1	Ограниченная емкость	Низкая емкость ЭДК может ограничивать их способность к накоплению энергии, что может быть критично в солнечных электростанциях, где необходимо обеспечивать стабильное питание.
2	Высокая стоимость	Она может являться препятствием для широкого использования.
3	Чувствительность к температуре	Солнечные электростанции часто работают в условиях высоких температур, что может привести к изменению емкости и других параметров ЭДК, что может негативно сказаться на их работе.
4	Ограниченный диапазон напряжений	ЭДК могут работать только в определенном диапазоне напряжений, что может быть проблемой в СЭС, где напряжение может варьироваться в зависимости от уровня солнечной радиации.
5	Наличие «паразитных» параметров	«Паразитные» параметры ЭДК, такие как индуктивность и сопротивление, могут повлиять на работу в высокочастотных схемах, используемых в СЭС.
6	Сложность монтажа	Монтаж ЭДК в СЭС может быть сложным и трудоемким процессом, что может увеличить затраты на установку и обслуживание.
7	Уязвимость к электромагнитным помехам	ЭДК уязвимы к электромагнитным помехам, что может быть проблемой в СЭС, где используются высокочастотные схемы и мощные электрические нагрузки

Изучив список отрицательных моментов, приходим к тому, что данный способ несет за собой множество возможных проблем, которые подразумевают не только экономические, но и технические трудности. В данном случае можно использовать гибридные накопители, включающие в себя ЭДК и аккумуляторные батареи, что будет наиболее эффективно, хотя и значительно дороже.

В данной статье преимущество отдается новой концепции управления, при которой выходная мощность фотоэлектрической станции (ФЭС) регулируется для поддержания системной частоты за счет резервирования части его мощности. Основная идея заключается в том, чтобы заставить массив фотоэлектрических модулей функционировать вне точки максимальной мощности (о которой говорилось ранее), что позволит обеспечить доступную резервную мощность непосредственно от самих модулей. Эта резервная мощность используется в случае необходимости увеличения выработки, что помогает предотвратить колебания частоты. Предлагается, что в ситуациях, когда частотный контроль должен осуществляться с помощью фотоэлектрической системы, панель разгружается на заранее определенный максимальный процент мощности, исходя из необходимого резерва. Формулировка такова: при возникновении отклонений частоты, выделяемая мощность будет пропорциональна этому отклонению. В ходе переходных процессов СЭС реагирует быстро и корректирует свою выходную мощность в зависимости от потребностей в электроэнергии. Это позволяет избежать использования дорогих накопителей, которые рассматривались первоначально. Также, по сравнению с батареями, использование разгруженных систем имеет преимущество в том, что они являются активным источником, а следовательно, не требуют дополнительной зарядки.

Но даже такая концепция имеет весомый недостаток – недоступность в ночное время. Данная проблема наглядно изображена на рис. 1.

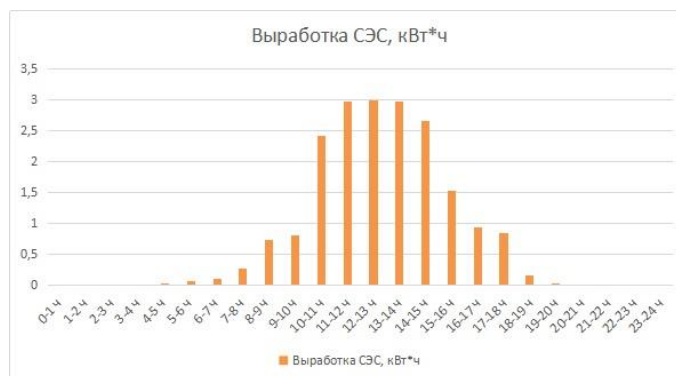


Рис. 1. Почасовой график выработки мощности СЭС за сутки



Днем солнечные панели полностью используют энергию солнечного света для производства электроэнергии, в то время как ночью производство электроэнергии значительно снижается или полностью прекращается. В этом контексте соотношение выработки мощности днем и ночью для солнечных электростанций может быть приблизительно 80–90 % днем и 0–20 % ночью. В таком случае предлагается решение в виде использования традиционных генераторов, которые покрывают ночные нагрузки.

### **Заключение**

В результате изучения различных вариантов регулирования частоты с помощью солнечных электростанций решается первоначально поставленная проблема. Выбранная концепция даёт большие возможности внедрению СЭС в процесс стабилизации частоты в энергетической системе.

Наиболее эффективным вариантом, из всех представленных в статье, оказалось резервирование части генерируемой мощности. Несмотря на неоспоримый минус работы солнечной электростанции ночью (представленный на рисунке 1), найдено решение, которое покрывает данное затруднение. Выбранная концепция удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам регулирования [4]:

- Надежность и устойчивость – система регулирования должна обеспечивать непрерывное и стабильное функционирование энергосистемы, предотвращая возможные аварийные ситуации.
- Эффективность и энергоэкономичность – система регулирования должна быть эффективной в использовании ресурсов и обеспечивать оптимальное распределение энергии в системе.
- Соблюдение законодательства и стандартов – система регулирования должна соответствовать законодательству и нормативам в области энергетики, обеспечивая соблюдение правил и требований регулирующих органов.

Также, к другим вариантам были подобраны альтернативные способы эксплуатации, более эффективные. Вместо использования единичного ЭДК, выгодней будет дополнить работу аккумулирующими батареями и создать гибридные накопители.

Цель достигнута, найденное решение важной научной проблемы способно обеспечить стабильность частоты в энергообъединениях сложной структуры, включающих СЭС, при различных схемно-режимных условиях их работы, в том числе и в аварийных режимах работы.

### **Список использованных источников**

1. Efram T., Chapman P.L. Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. IEEE Transactions on energy // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2007. – Vol. 22 (2). – P. 434–449.
2. Xu Z., Guan X., Jia Q.S., Wu J., Wang D., Chen S. Performance analysis and comparison on energy storage devices for smart building energy management // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2012. – Vol. 3 (4). – P. 2136–2147.
3. Kakimoto N., Takayama S., Satah H., Nakamura K. Ramp-rate control of photovoltaic generator with electric double-layer capacitor // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2009. – Vol. 24 (2). – P. 465–473.
4. СТО. Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике. Регулирование частоты и перетоков активной мощности в ЕЭС и изолированно работающих энергосистемах России. Требования к организации и осуществлению процесса, техническим средствам: Стандарт организации ОАО РАО «ЕЭС России»: дата введения 2007-11-01 / ОАО «Системный оператор – Центральное диспетчерское управления Единой энергетической системы». – Изд. Официальное. - ОАО РАО «ЕЭС России», 2007. – 53 с.



# ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ СИЛОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Гусаров И.Н.,

Томский политехнический университет, ИШЭ, ОЭЭ, 5АМ31, ing8@tpu.ru

## Введение

Одним из векторов развития современной электроэнергетики является увеличение доли “зеленой” энергии, вырабатываемой возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Одной из особенностей ВИЭ является их подключение к электрической сети через силовые преобразователи [1]. Однако увеличение доли ВИЭ приводит к изменению как динамических характеристик сети, так и ее режимных процессов. В частности, использование силовых преобразователей уменьшает общий инерционный отклик сети, изменяет вклад в формирование токов короткого замыкания от объектов генерации и ухудшает условия для нормальной работы устройств релейной защиты и автоматики [2]. Одним из предлагаемых технических решений является использование алгоритмов управления силовыми преобразователями, основываясь на поведении синхронного генератора. Данный метод подразумевает создание концепции виртуального синхронного генератора (ВСГ) в рамках алгоритма системы автоматического управления (САУ).

## Основная часть

Данный раздел посвящен описанию различных решений по реализации ВСГ.

Концепция использования алгоритма ВСГ в САУ для силовых преобразователей подразумевает под собой использование особенностей поведения синхронной машины при управлении инвертором. На рис. 1 приведена обобщенная аппаратно-структурная схема, отражающая подключение силового преобразователя к электрической сети с учетом управления на основе ВСГ.

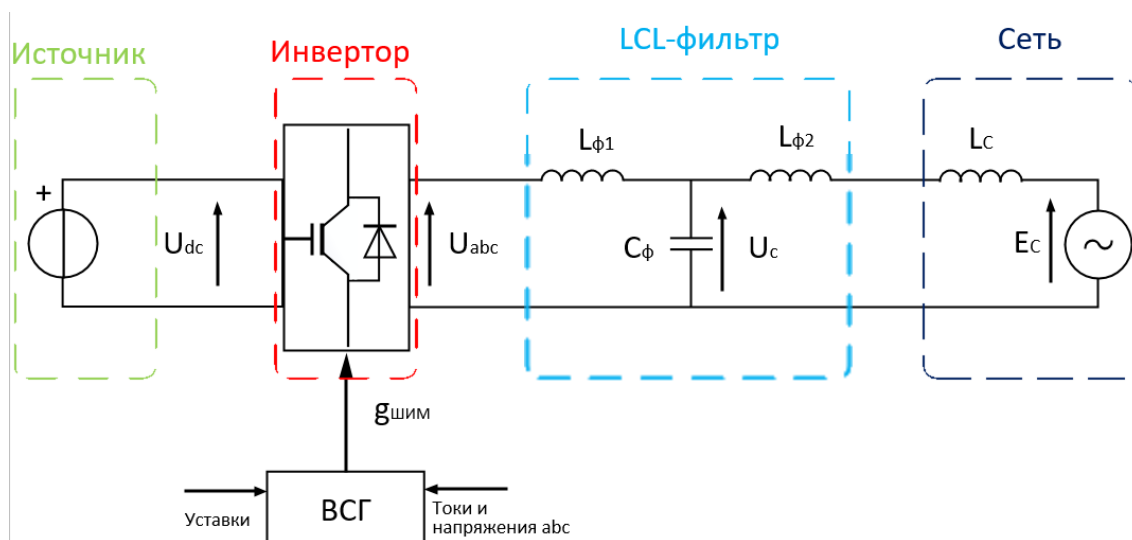


Рис. 1. Аппаратно-структурная схема силового преобразователя с алгоритмом ВСГ

Как видно из рис. 1, схема состоит из источника напряжения, инвертора, выходного LCL-фильтра и блока ВСГ. В роли источника энергии в цепи постоянного тока рассматривается идеальный источник постоянного напряжения, в реальности же это могут быть объекты ВИЭ с накопителями энергии. Данный источник питает трехфазный инвертор, подключенный к сети через LCL-фильтр. Такой фильтр является одним из наиболее распространенных решений для подключения силовых преобразователей к электрической сети [3]. Блок ВСГ включает в себя все алгоритмы управления силовыми ключами, моделирующие поведение синхронного генератора и необходимые для синхронизации инвертора и электрической сети.

Чтобы подробнее рассмотреть типовой алгоритм функционирования САУ силовыми преобразователями на основе концепции ВСГ необходимо рассмотреть следующую схему, представленную на рис. 2 [4].

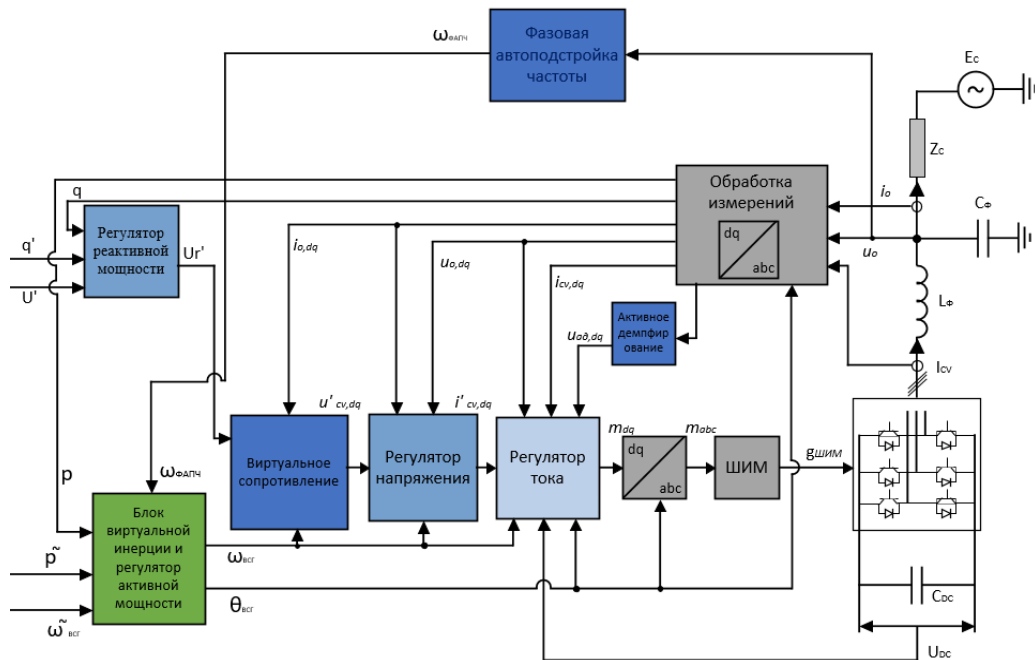


Рис. 2. Структурная схема САУ силового преобразователя на основе концепции ВСГ

Общая концепция схемы управления заключается в том, что из электрической сети берутся параметры тока, напряжения, мощности и частоты, после они проходят через ряд математических преобразований и на выходе САУ выдается управляющее воздействие на открытие ключей силового преобразователя, что позволяет имитировать динамику синхронной машины. Далее представляется краткое описание работы каждого блока.

Блок виртуальной инерции и регулятора активной мощности строится на основе уравнения движения ротора:

$$P_{уст} - P_{эл} - k_d \cdot (\omega_{ВСГ} - \omega_{ФАПЧ}) - k_\omega \cdot (\omega_{ВСГ} - \omega_{ном}) = T_J \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где  $P_{уст}$  – уставка по активной мощности ВСГ,  $P_{эл}$  – электромагнитная мощность на выходе инвертора,  $T_J$  – постоянная инерции ВСГ,  $d\omega$  – изменение угловой скорости,  $k_\omega$  – коэффициент статизма по частоте,  $k_d$  – коэффициент демпфирования,  $\omega_{ВСГ}$  – фактическая частота ВСГ,  $\omega_{ФАПЧ}$  – частота, получаемая от блока фазовой автоподстройки (ФАПЧ),  $\omega_{ном}$  – номинальная частота. Таким образом данный блок вычисляет разницу между уставкой мощности и измеренной мощностью, а дальше полученное значение делится на постоянную инерцию ВСГ и проходит через интеграторы, выдавая значения изменения угловой скорости и фазового угла [5]. Также в данном блоке происходит моделирование эффекта демпфирования реальной синхронной машины, за счет наличие коэффициента демпфирования в обратной связи.

Другой блок – блок регулятора реактивной мощности – используется для внутренних контуров регулятора напряжения и тока. В данном блоке сравнивается реактивная мощность уставки и выдаваемая реактивная мощность, после чего, полученная разница прибавляется к значению измеренного напряжения и выдается управляющее напряжение.

Задача блока фазовой автоподстройки частоты заключается в отслеживании текущей частоты напряжения сети для блока виртуальной инерции и регулятора активной мощности. Данный блок принимает на вход трехфазное напряжение сети, преобразует их в d-q составляющие и с помощью функции обратного тангенса  $atan2$  [6] определяется угол между векторами  $U_q$  и  $U_d$ . Дальше значения, проходя через ПИ-регулятор, преобразуются в значения фазового угла напряжения и частоты сети.

Блок регулятора напряжения необходим для формирования опорных значений токов с учетом виртуальных сопротивлений ВСГ. Виртуальное сопротивление может рассматриваться, как сопротивление традиционного синхронного генератора. В данном блоке предусматривается ограничение выдаваемых токов в результате, например, значительного снижения напряжения или внутренних ошибок в работе алгоритма.

Далее опорные значения токов подаются в блок регулятора тока, с помощью которого формируется управляющее воздействие для открытия ключей силового преобразователя.

Дальнейшие исследования в этой области так или иначе связаны с базовой структурой построения ВСГ и поведением реального СГ, однако применяются другие различные подходы к формированию управляющих воздействий. Например, предложенный в [7] “synchronverter” подразумевает самосинхронизацию ВСГ подобно синхронной машине без использования блока фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Данное улучшение связано с тем, что для нормальной работы установок с другими алгоритмами ВСГ в электрической сети может быть необходимо наличие традиционной синхронной генерации. Алгоритм самосинхронизации позволяет избежать этого, а также решает другие проблемы, связанные с блоком ФАПЧ. Исследования в области самосинхронизации ВСГ проводились и в рамках других работ [8, 9].

Другой подход к реализации алгоритма ВСГ заключался в детальном описании электромеханических и электромагнитных уравнений традиционного синхронного генератора [10, 11]. При этом при работе алгоритма ВСГ параметры настройки контуров управления не привязываются к конкретной реализации синхронной машины, а могут быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить необходимый динамический отклик генерирующей установки. Однако такой подход может оказаться излишне детальным, что усложнит подходы к настройке ВСГ и приведет к ухудшению отклика алгоритмов ВСГ на различные возмущения в сети.

## Заключение

Развитие технологий ВСГ представляет собой возможность более глубокого внедрения возобновляемой энергетики в мире, а также полноценный переход к распределенной энергетике. На сегодняшний день существует множество подходов к выстраиванию алгоритмов управления ВСГ в составе системы автоматического управления силовыми преобразователями.

В данной работе описаны лишь некоторые основные подходы к реализации ВСГ. Исходя из анализа различных источников [12,13], можно сделать вывод, что перспективой развития ВСГ может являться технология гибкой подстройки параметров алгоритмов ВСГ при различных режимах работы генерирующих установок или возмущениях в электрической сети. Такие технологии позволят не привязываться к параметрам конкретной синхронной машины, а подстраиваться под любые крупные или мелкие системные возмущения, используя паттерны поведения синхронных машин. Подобные свойства могут достигаться, например, с применением технологий искусственного интеллекта [14].

## Список использованных источников

1. Фролов М.Ю., Фишов А.Г., Энхсайхан Э. Совместимость динамических характеристик традиционной и электронной генерации в электроэнергетических системах // Вестник Иркутск. гос. техн. ун-та. – 2019. – Т. 23, № 6 (149). – С. 1175–1186. DOI: 10.21285/1814-3520-2019-6-1175-1186 .
2. Оценка влияния ветроэлектростанций на изменение суммарной инерции электроэнергетической системы / И.А. Разживин, Н.Ю. Рубан, В.Е. Рудник, А.С. Гусев // Вестник Иркутск. гос. техн. ун-та. – 2021. – Т. 25, № 2 (157). – С. 220–234. – DOI: 10.21285/1814-3520-2021-2-220-234.
3. Kundur P. Power system stability //Power system stability and control. – 2007. – Vol. 10. – P. 7–1.
4. S. D’Arco, J.A. Suul, O.B. Fosso, A virtual synchronous machine implementation for distributed control of power converters in SmartGrids, Electr. Power Syst.Res. 122 (2015) 180–197.
5. К ВОПРОСУ О СОВРЕМЕННЫХ ПРИНЦИПАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА. Аскарлов А.Б., Суворов А.А., Андреев М.В., Гусев А.С. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2022. № 41. С. 5-30.
6. Zunaib Ali, Nicholas Christofides, Lenos Hadjidemetriou, Elias Kyriakides, Yongheng Yang, Frede Blaabjerg, Three-phase phase-locked loop synchronization algorithms for grid-connected renewable energy systems: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – P. 434–452.
7. Zhong Q. C., Weiss G. Static synchronous generators for distributed generation and renewable energy // 2009 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition. – 2009. – P. 1–6.
8. Zhong, Qing-Chang, and George Weiss. Synchronverters: Inverters that mimic synchronous generators.// IEEE transactions on industrial electronics, – 2010. – Vol. 58 (4) – P. 1259–1267.
9. Vasudevan K. R. et al. Synchronverter: A comprehensive review of modifications, stability assessment, applications and future perspectives // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 131565–131589.
10. Mallema V. et al. A comprehensive comparison of Virtual Synchronous Generators with focus on virtual inertia and frequency regulation //Electric Power Systems Research. – 2021. – Vol. 201. – P. 107516.

11. Wang X., Yue M., Muljadi E. PV generation enhancement with a virtual inertia emulator to provide inertial response to the grid // IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, 2014. – P. 17–23. DOI: 10.1109/ECCE.2014.6953370.
12. Shadoul, M.; Ahshan, R.; AlAbri, R.S.; Al-Badi, A.; Albadi, M.; Jamil, M. A Comprehensive Review on a Virtual-Synchronous Generator: Topologies, Control Orders and Techniques, Energy Storages, and Applications // Energies. – 2022. – Vol. 15. – P. 8406.
13. Суворов А.А., Аскарлов А.Б., Рудник В.Е., Андреев М.В., Бай Ю.Д. Синтез и тестирование типовых структур систем автоматического управления на основе виртуального синхронного генератора для генерирующих установок с силовым преобразователем // Электрические станции. – 2022. – № 3 (1088). – С. 43–57.
14. Xu Q., Dragicevic T., Xie L. and Blaabjerg F. Artificial Intelligence-Based Control Design for Reliable Virtual Synchronous Generators // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2021. – Vol. 36, no. 8. – P. 9453–9464. DOI: 10.1109/TPEL.2021.3050197.

# ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ СБОРА И ПОДГОТОВКИ ГАЗА

*Коротченко Р.К.  
НИ ТПУ, ИШПР, А3-77, r97281198@gmail.com*

## **Введение**

В условиях Крайнего Севера проблема образования гидратов природного углеводородного газа и ледяных пробок в системах сбора и подготовки газа является одной из наиболее существенных и нерешённых в газодобывающей отрасли [1,2,3]. Ликвидация данного осложнения представляет собой сложную задачу, а затраты на мероприятия по его предотвращению составляют значительную часть себестоимости добычи газа [1]. В то же время традиционные методы решения проблемы не позволяют достичь универсального решения. На основе анализа значительного промыслового опыта и литературы можно предположить, что существующие методы, во многом опирающиеся на теоретическое моделирование, обладают ограниченной эффективностью. В работе выдвигается гипотеза о том, что использование статистических методов, эмпирических моделей и машинного обучения, может предложить более эффективное решение этой проблемы. Цель данного доклада — продемонстрировать перспективность применения эмпирических моделей и машинного обучения, использующего статистические методы, для решения задачи раннего обнаружения и контроля образования газогидратов и ледяных пробок в системах сбора и подготовки газа.

Для реализации поставленной цели необходимо решить ряд задач, а именно:

- рассмотреть актуальные подходы по борьбе с осложнением;
- продемонстрировать неэффективность применения теоретического моделирования для решения проблемы;
- обосновать перспективность алгоритмов и эмпирических моделей. Продемонстрировать рабочий прототип эмпирической модели. Показать перспективность машинного обучения для решения проблемы.

## **Методы предотвращения осложнения**

По теме исследования методов предотвращения образования гидратов и льда в системах сбора и подготовки газа накоплено большое количество публикаций и предложений [2, 3, 4, 5].

Для борьбы с образованием гидратов природного газа и льда в системах сбора и подготовки существуют физические, технологические и химические методы предупреждения образования гидратов в промысловом оборудовании [3].

Наиболее эффективными и широко применяемыми методами борьбы с осложнениями являются химические методы. На месторождениях Крайнего Севера используется только термодинамический ингибитор, а именно метанол [2, 7], как наиболее эффективный и доступный.

В связи с этим большинство работ по проблеме предупреждения гидратообразования сфокусировано на попытках оптимизировать расход метанола или технологию его подачи в систему. Для этой цели строятся сложные физико-химические, термодинамические и математические модели системы. Далее проводятся поиски теоретических условий и зон гидратообразования, и в зависимости от этого предлагаются решения по закачке метанола.

## **Ограничения методов раннего обнаружения и мониторинга осложнения**

Несмотря на накопленные за годы исследований обширные знания о газовых гидратах, традиционные методы и теоретические модели, основанные на физико-химических и термодинамических расчетах, сталкиваются с проблемами в условиях промысла

Вопрос применимости и точности систем гидратообнаружения поднимается в ряде работ [8, 9, 10]. В работе [10], после рассмотрения наиболее распространенных подходов, делается заключение о том, что на сегодняшний день не найден универсальный метод раннего обнаружения гидратообразования в трубопроводе, который бы давал очень высокую точность при минимальных затратах на обработку и получение информации.

Неудачи в создании таких методов связаны с тем, что система сбора и подготовки газа представляет собой сложную и динамическую систему с большим числом неизвестных параметров. В условиях промысла невозможно определить, в какой именно точке возникнет центр гидратообразования, каковы

будут значения обводнённости, температуры, давления, компонентного состава, плотности, коэффициента теплопередачи и других параметров в конкретном участке газосборного оборудования при заданном технологическом режиме. Кроме того, существует проблема недостатка информации.

Итак, можно сделать вывод о том, что не создано надежной системы раннего обнаружения или прогнозирования осложнения. Также не разработано эффективных систем оптимизации подачи ингибитора в систему. Проблемы выработки эффективного решения связана с использованием во многих подходах теоретического и статического моделирования, в то время как система является динамической, сложной, с большим числом неизвестных параметров.

### **Использование эмпирических моделей и машинного обучения в качестве решения проблемы**

Решением данной проблемы может служить использование принципиально иного подхода к анализу данных. Предлагается использовать статистические методы и эмпирические модели для раннего обнаружения и прогнозирования зон образования гидратных и ледяных пробок, оптимизации подачи ингибитора. Очевидным выглядит идея создания автоматизированных алгоритмов прогноза именно на основе опытных данных предыдущих трендов. При таком подходе исключается необходимость иметь полную информацию о системе, самих гидратах и очень сложных процессах, происходящих в системах сбора и подготовки. Более того, для реализации подобного могут быть использованы системы машинного обучения, так как данные системы как раз и работают с большими статистическими данными.

Рассмотрим теперь реальную производственную практику, касающуюся предотвращения рассматриваемого осложнения. Нормы расхода метанола, подаваемого в систему с целью профилактики гидратообразования рассчитываются по установленным стандартам [11]. Однако в холодный период года данного объема критически не хватает для эффективной борьбы с осложнением, тогда как в теплый период потребный расход значительно меньше нормы. В связи с этим в промышленных условиях вопрос определения объема ингибитора, подаваемого в систему, решается путем подбора достаточных объемов прокачки газосборного оборудования на основе статистических данных за прошлые годы. Контроль и раннее обнаружение газовых гидратов в системе также основано на статистическом анализе. Механизм обнаружения заключается в анализе большого числа параметров (давления, температуры, расходы и др.), приходящих с приборов телеметрии и поиска в этих данных аномалий. Последующий анализ данных аномалий позволяет сделать вывод о наличии или отсутствии проблемы. По сути, действия оператора промысла в данном случае представляют из себя определенный алгоритм, основанный на анализе статистической информации. Проанализировав действия персонала и имея большую производственную практику, удалось строго алгоритмизировать последовательность действий персонала (рис. 1).

Все этапы данного алгоритма могут быть автоматизированы и реализованы с помощью математических моделей, а программными методами внедрены в производство. На данный момент успешно реализован первый этап.

Для реализации первого этапа была создана математическая модель. Модель анализирует скорость изменения трендов давлений (временных рядов), и в случае аномальных показателей выдает предупреждение. В данную модель не закладывается никаких знаний о физико – химическом состоянии системы и процессах, протекающих в ней. Данная модель работает исключительно со статистическими данными, симулируя поведение оператора в реальных условиях на первом этапе поиска аномалий. В связи с этим, модель является эмпирической, а не теоретической. Реализация созданной модели была выполнена в Microsoft Excel. В данной программе удалось реализовать правила, по которым определялись участки аномального роста давления. Момент выдачи предупреждение программой находился в диапазоне 30 минут от реакции оператором. В некоторых случаях программа опережала реакцию человека, в некоторых запаздывала на 30 минут. В целом результат является положительным и доказывает перспективность подобного подхода.

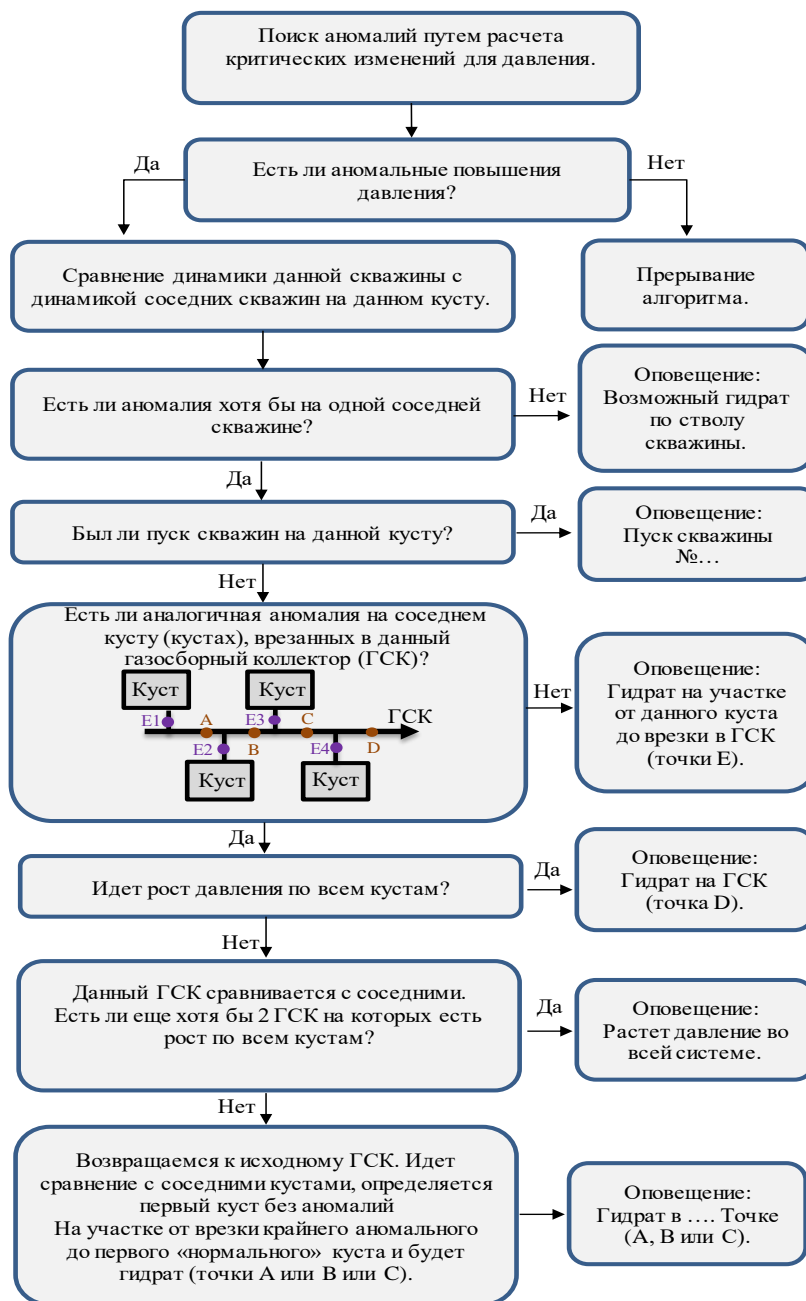


Рис. 1. Алгоритм обнаружения гидратообразования

Другим возможным подходом к решению проблемы является внедрение систем машинного обучения. В приведенном выше алгоритме анализируются тренды давлений, температур и других параметров работы системы. Данные тренды, в сущности, являются временными рядами. Задачи с анализом временных рядов хорошо решаются системами машинного обучения. В пример можно привести успешный опыт внедрения подобных технологий компанией «Газпром нефть» [12]. Однако, лидерами в вопросе применения машинного обучения для решения производственных являются западные исследователи. В работах [13, 14] представлены положительные результаты исследований использования машинного обучения для раннего обнаружения образования гидратов в газосборной системе и применение искусственного интеллекта для раннего обнаружения отказов УЭЦН (установка электроприводного центробежного насоса).

### Заключение

Итак, в данном докладе наглядно представлена проблема применения традиционных методов к борьбе с образованием газовых гидратов и ледяных пробок в системах сбора и подготовки газа. Пока-

зано, что вследствие динамичности и сложности системы, теоретические и статические модели являются неэффективными в борьбе с данным осложнением. Предложено использовать статистический подход и эмпирические модели для решения проблемы. Посредством опоры на производственный опыт и статистические данные представлен автоматизированный алгоритм контроля и раннего обнаружения осложнения. Показаны результаты реализации первого этапа алгоритма. Кроме того, указана перспективность использования машинного обучения для решения имеющейся проблемы. Предложенные решения позволяют отказаться от необходимости получать точные и подробные знания о физико-химическом состоянии системы и сложных динамических процессах, протекающих в ней (что невозможно сделать на практике). Вместо этого, в докладе показано, что добиться требуемого результата возможно используя доступную статистическую информацию и цифровые технологии.

#### Список использованных источников

1. Басарыгин Ю. М. Теория и практика предупреждения осложнений и ремонта скважин при их строительстве и эксплуатации: Справочное пособие: в 6 томах / Ю.М. Басарыгин, В.Ф. Будников, А.И. Булатов. Том 5. – Москва : «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 431 с.
2. Бык С.Ш. Газовые гидраты / С.Ш. Бык, Ю.Ф. Макогон, В.И. Фомина; под ред. С.Ш. Быка. – Москва : Химия, 1980. – 296 с.
3. Истомин В.А. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа / В.А. Истомин, В.Г. Квон. – Москва : ООО «ИРЦ Газпром», 2004. – 508 с.
4. Макоган Ю.Ф. Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование / Ю.Ф. Макоган. – Москва : Недра, 1985. – 232 с.
5. Чухарева Н.В. Определение условий гидратообразования при транспорте природного газа в заданных технологических условиях эксплуатации промысловых трубопроводов. Расчет необходимого количества ингибиторов для предотвращения загидративания: методические указания / Н. В. Чухарева. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета (ТПУ), 2010. – 30 с.
6. Пат. 2329371 Российская Федерация, МПК7 Е 21 В 43/00, F 17 D 3/00. Способ управления процессом предупреждения гидратообразования во внутрипромысловых шлейфах газовых и газоконденсатных месторождений Крайнего Севера / Андреев О. П., Салихов З. С., Ахметшин Б. С., Арабский А. К., Вить Г. Е., Талыбов Э. Г.; патентообладатель ООО «Ямбурггаздобыча». – № 2006137680/03; заявл. 26.10.2006; опубл. 20.07.2008, Бюл. № 20.
7. Фаресов А.В. Исследование эффективности ингибиторов гидратообразования кинетического типа / А.В. Фаресов, А.И. Пономарев // Нефтегазовое дело. – 2013. – Т. 11, № 4. – С. 86–95.
8. Прахова М.Ю. Анализ методов диагностирования гидратообразования в шлейфах / М.Ю. Прахова, А.Н. Краснов, Е.А. Хорошавина // Электронный научный журнал нефтегазовое дело. – 2017. – № 1. – С. 77–94.
9. Прахова М.Ю. Оптимизация управления подачей метанола в системах сбора природного газа / М.Ю. Прахова, А.Н. Краснов, Е.А. Хорошавина [и др.] // Территория нефтегаз. – 2016. – № 6. – С. 22–29.
10. Федоров В.Н. Обзор методов диагностирования гидратообразования в магистральных трубопроводах / В.Н. Федоров, О.О. Валямова // Актуальные проблемы научного знания. Новые технологии ТЭК-2018 : Материалы II Международной научно-практической конференции, Тюмень, 20–21 апреля 2018 года / Ответственный редактор М.В. Баделина. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2018. – С. 6–9.
11. СТО Газпром 3.0-2006. Система стандартизации ОАО "Газпром". Система норм и нормативов расхода ресурсов, использования оборудования и формирования производственных запасов ОАО «Газпром» - М.: ИРЦ Газпром: ВНИИГАЗ. - 2006. - 28 с.
12. Хасанов М.М. Перспективные технологии Big Data в нефтяном инжиниринге: опыт компании «Газпром нефть» / М.М. Хасанов, Д.О. Прокофьев, О.С. Ушмаев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 12. – С. 76–79.
13. Qin H., Srivastava V., Wang H., Zerpa L.E. and Koh C.A. Machine Learning Models to Predict Gas Hydrate Plugging Risks Using Flowloop and Field Data // Offshore Technology Conference, Houston, USA, May 2019. – P. OTC-29411-MS. DOI: <https://doi.org/10.4043/29411-ms>.
14. Patri O.P., Panangadan A., Chelmis C., McKee R.G., & Prasanna V.K. Predicting Failures from Oilfield Sensor Data using Time Series Shapelets // SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Amsterdam, The Netherlands, October 2014. – P. SPE-170680-MS. DOI: <https://doi.org/10.2118/170680-ms>.



# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ВЫРАБОТКОЙ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ СЭС ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Пичугина Е.В.<sup>1</sup>, Прохоров А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НИ ТПУ, ИШЭ, О-5КМ21, e-mail: evp38@tpu.ru

<sup>2</sup> НИ ТПУ, ИШЭ, доцент, e-mail: antonprokhorov@tpu.ru

## Введение

Согласно отчетам о фактических режимах работы возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в отношении которых заключены договоры о предоставлении мощности (ДПМ ВИЭ) за 2023 год, в Единой энергетической системе (ЕЭС) России зафиксированы факты ограничения мощности ВИЭ. При этом в объединенной энергосистеме (ОЭС) Сибири зафиксировано только два случая ограничения выработки ВИЭ. Однако, с учетом планируемого ввода новых мощностей к 2028 году, возможно увеличение числа и длительности ограничений в будущем. Ввод ограничений мощности ВИЭ приводит к снижению коэффициента использования их установленной мощности (КИУМ), что в итоге может привести к увеличению стоимости электроэнергии в дефицитных частях энергосистемы и к снижению экономической эффективности использования ВИЭ. Обзор зарубежного опыта показал существование различных подходов к определению объема ограничений, вводимых в отношении отдельных электростанций. В большинстве случаев, приоритетами, которыми руководствуются диспетчерские центры, являются – минимизация суммарного объема вводимых ограничений и недискриминационность подходов по отношению к участникам рынка электроэнергии. В то же время, несмотря на очевидную необходимость учета переменного характера выработки ВИЭ при вводе ограничений, недостаточно внимания уделяется автоматизации решения данной задачи.

Целью данного исследования является экспериментальное исследование существующих методов ограничения активной мощности ВИЭ и оценка возможности их применения для автоматического ввода ограничений.

## Актуальность проблемы ограничения выдачи мощности ВИЭ

При относительно небольшой доле возобновляемой генерации в ЕЭС России, в некоторых схемно-режимных ситуациях вынуждено выдаются команды на разгрузку ВИЭ. На рис. 1 показаны объемы ограничений мощности за 2023 год [1].

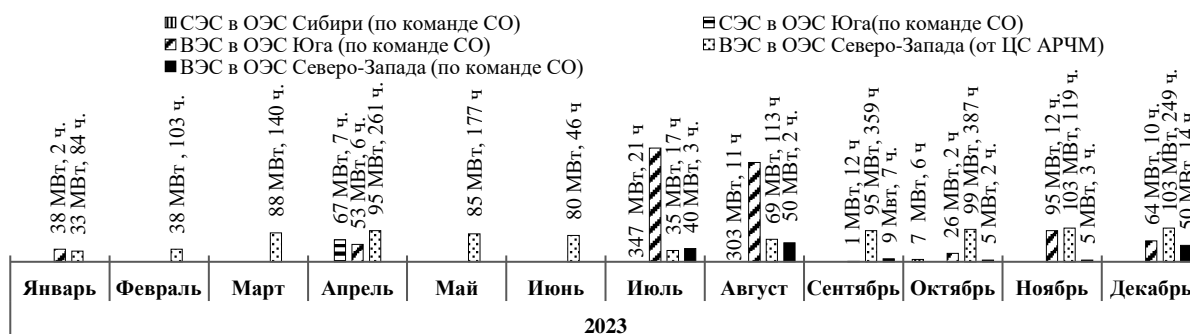


Рис. 1. Результаты ввода ограничений мощности ВИЭ в ЕЭС России за 2023 год

В статье [2] рассмотрен международный опыт ограничения выдачи мощности ВИЭ в сеть и выявлены причины ввода ограничений:

- Недостаточная пропускная способность электропередачи при работе тепловых электростанций на технологическом минимуме или гидроэлектростанций в условиях паводка.
- Снижение напряжения ниже допустимого уровня.
- Сохранение динамической устойчивости.

В ЕЭС России основной причиной ограничения мощности ВИЭ является недостаточная пропускная способность электрической сети.

## Обзор методов ограничения мощности ВИЭ

В работах [3-6] выполнен анализ различных методов оценки ограничений мощности ВИЭ, основанных на принципах поддержания КИУМ и недискриминационности по отношению к участникам

рынка электроэнергии. Авторы выделяют в качестве наиболее эффективных следующие методы: пропорционального сокращения, равных сокращений, равных остатков и «кругового перебора».

Анализ указанных методов показал, что они не учитывают эффективность разгрузки контролируемого сечения (КС) при снижении мощности ВИЭ, что приводит к увеличению расходования резерва ВИЭ на разгрузку. Это, в свою очередь, приводит к дополнительному снижению КИУМ ВИЭ. Поэтому в данной работе была выполнена модификация методов – добавлено ранжирование СЭС по эффективности и определение требуемого суммарного объема разгрузки с учетом эффективности, что позволило снизить объем расходования резервов. Следует отметить, что рассмотренные методы используются для оперативного управления режимом, поэтому ограничения для каждой РЭС задаются последовательно пока не достигается цель регулирования. Это позволяет минимизировать число задействованных объектов ВИЭ, что упрощает задачу управления, но снижает эффективность регулирования.

Авторами [7] разработана система онлайн расчета коэффициентов долевого участия (КДУ) РЭС, подключенных к АРЧМ, в текущей схемно-режимной ситуации, в том числе при решении задачи автоматического ограничения перетока. Посредством оптимизационных расчетов, в ходе которых в расчетной модели изменяется мощность РЭС, система определяет КДУ, при которых достигается цель регулирования (1).

$$f(P_{\text{ген}}) = \sum_{i=1}^N w_i \cdot f_i(P_{\text{ген}}), \quad (1)$$

где  $w_i$  – весовые коэффициенты, определяющие важность отдельных критериев;  $f_i(P_{\text{ген}})$  – компоненты целевой функции;  $N$  – количество компонентов целевой функции.

В рамках работы интерес представляют следующие компоненты целевой функции:

Изменение перетока в «основном» КС:

$$f_1(P_{\text{ген}}) = |P_{\text{КС}} - (P_{\text{КСисх}} - \Delta P_{\text{ОГР}})|, \quad (2)$$

где  $P_{\text{КС}}$  – нагрузка КС на текущей итерации расчета;  $P_{\text{КСисх}}$  – начальная нагрузка КС;  $\Delta P_{\text{ОГР}}$  – целевое изменение перетока в КС.

Минимизация использования резервов РЭС:

$$f_2(P_{\text{ген}}) = |k_a \cdot (P_{\text{ген}} - P_{\text{генисх}})^n|, \quad (3)$$

где  $k_a$  – коэффициенты, соответствующие располагаемому объему резервов;  $P_{\text{ген}}$  – нагрузка электростанции на текущей итерации;  $P_{\text{генисх}}$  – начальная нагрузка электростанции;  $n$  – положительная константа для равномерного расходования резервов мощности.

Минимизация отклонения перетока в «дополнительном» КС:

$$f_3(P_{\text{ген}}) = |P_{\text{КСдоп}} - P_{\text{КСмдп}}|, \quad (4)$$

где  $P_{\text{КСдоп}}$  – нагрузка «дополнительного» КС на текущей итерации расчета;  $P_{\text{КСмдп}}$  – МПД «дополнительного» КС.

В процессе оптимизации алгоритм подбирает значения мощностей РЭС  $P_{\text{ген}}$  так, чтобы минимизировать разницу между фактическим  $P_{\text{КС}}$  и целевым значением перетока в КС (2) за счет использования меньшего объема резервов (3). При этом фактические величины резервов РЭС учитываются с помощью масштабирующих коэффициентов  $k_a$ , вычисляемых одним из трех методов:

- const – коэффициенты не зависят от объемов резервов РЭС;
- tanh – при таком подходе отдается предпочтение РЭС, имеющим резерв на разгрузку больше определенной величины;
- linear – ограничения вводятся пропорционально доступным резервам на разгрузку. В отличие от метода пропорциональных сокращений, учитывается эффективность.

## Вычислительные эксперименты

Для выполнения экспериментов была разработана перспективная расчетная модель (ПРМ) 2028 года энергосистемы Забайкальского края. В ПРМ учтена нагрузка перспективных СЭС по активной мощности на основе ретроспективных данных о солнечной радиации.

Для решения задачи ограничения перетока в КС в ПРМ рассмотрен режим, который соответствует минимуму тепловой генерации, минимуму потребления и максимуму выработки СЭС. В режиме зафиксировано два случая перегрузки КС: КС-1 величиной 69 МВт и КС-2 величиной 50 МВт. Расположение СЭС Забайкальского края относительно перегруженных КС показано на рис. 2.

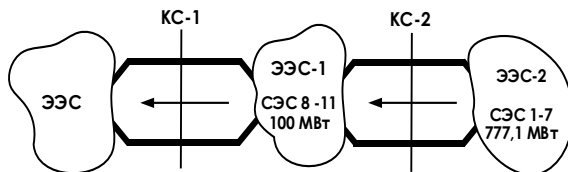


Рис. 2. Расположение СЭС относительно перегруженных КС

С помощью ПО из [7] проведены следующие эксперименты:

1. Ограничение перетока КС-1 и минимизация использования резервов СЭС.
2. Ограничение перетока КС-1, минимизация использования резервов СЭС и контроль перетока в КС-2.
3. Ограничение перетока КС-2, минимизация использования резервов СЭС и контроль перетока в КС-1.

Также выполнен эксперимент 2 для методов из [2-5]. Результаты представлены для наиболее эффективных методов: пропорционального сокращения (Prop), равных сокращений (Eq1) (таблица 1). Для каждого метода указан суммарный объем разгрузки, перетоки по КС и общая эффективность регулирования ( $\alpha$ ).

Таблица 1

Результаты экспериментов

№	Метод	Объем разгрузки, МВт	Переток КС-1, МВт (МДП 215 МВт)	$\alpha_{КС-1}$ , о.е.	Переток КС-2, МВт (МДП 237 МВт)	$\alpha_{КС-2}$ , о.е.
1	const	73,34	214,99	0,94	255,97	0,90
	tanh	75,93	214,99	0,91	231,69	0,92
	linear	76,71	214,99	0,90	227,17	0,91
2	const	75,82	214,99	0,91	236,97	0,91
	tanh	77,03	214,99	0,90	225,41	0,91
	linear	76,81	214,99	0,90	227,13	0,91
	Prop	79,74	213,66	0,88	223,94	0,90
	Eq1	83,62	211,19	0,87	211,19	0,91
3	const	76,08	215,14	0,91	236,99	0,88
	tanh	75,94	214,89	0,91	236,99	0,89
	linear	75,69	215,11	0,91	236,99	0,89

На рис. 3 и 4 для сравнения представлены распределения ограничений между СЭС в долях от суммарного объема ограничений.

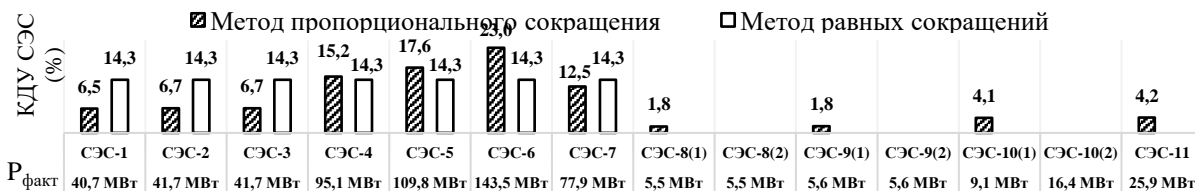


Рис. 3. Величины КДУ СЭС (эксперимент 2)

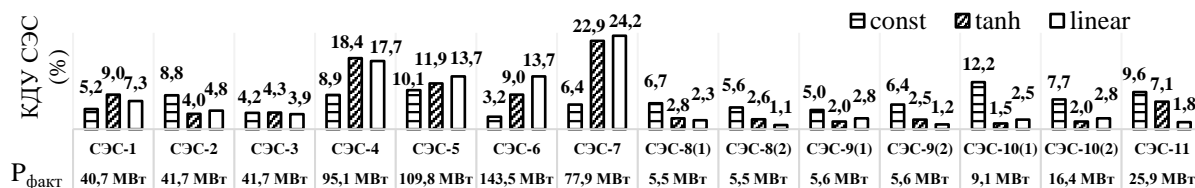


Рис. 4. Величины КДУ СЭС в результате оптимизационного расчета при разных методах учета доступных резервов на разгрузку (эксперимент 2)

В результате получено, что методы, применяемые за рубежом, требуют большего снижения мощности, и ввиду последовательного ввода ограничений чрезмерно снижают переток в КС. Метод const в экспериментах 1 и 2 обеспечивает минимальную разгрузку СЭС, так как задействует наиболее эффективные РЭС. В эксперименте 3, ввиду того что приоритет отдается разгрузке КС-2 (большой вес в целевой функции), задействуются менее эффективные по отношению к КС-1 РЭС. При этом во всех случаях учитываются располагаемые резервы СЭС, что позволяет поддерживать КИУМ на более высоком уровне.

Согласно рис. 4, в рассматриваемой схемно-режимной ситуации при использовании метода const наиболее эффективны СЭС- 10(1), СЭС-11, СЭС-5, СЭС-4, СЭС-2 – КДУ выше 8 %. Следовательно, указанные СЭС получают большее снижение КИУМ. Методом tanh для СЭС, загруженных выше 50 МВт (СЭС-4, СЭС-5, СЭС-6, СЭС-7) КДУ рассчитано только с учетом эффективности снижения перетока в КС-1. Для остальных объектов СЭС алгоритм учитывает, что фактический резерв мал, и КДУ станций занижается. При использовании метода linear в наибольшей степени задействованы РЭС с высоким объемом резерва (СЭС-6, СЭС-5, СЭС-4, СЭС-7). Однако, алгоритм выбирает объекты не только по величине располагаемого резерва, но и учитывает влияние РЭС на переток в КС.

### **Заключение**

В результате автоматизированного расчета, наименьшие значения объемов требуемой разгрузки получены при ограничении перетока в одном сечении и отборе РЭС только по их эффективности. При необходимости ограничения перетоков одновременно в двух КС, объем суммарной разгрузки станций возрастает, так они имеют разный характер и эффективность влияния на переток в сечениях. При этом качественное решение такой задачи может быть обеспечено только при его автоматизации и постановке в виде задачи оптимизации. Известные из литературы методы ограничения мощности ВИЭ во всех случаях дают худший результат, что выражается в увеличении общего объема вводимых ограничений, отсутствии возможности избежать дискриминации отдельных электростанций, избыточной разгрузке КС.

Таким образом, онлайн расчет объема ограничений способствует повышению КИУМ ВИЭ, однако, требуется его доработка с учетом переменного характера выработки ВИЭ.

### **Список использованных источников**

1. Информация о фактическом режиме работы объектов ДПМ ВИЭ. АО «СО ЕЭС». URL: <https://www.so- ups.ru/functioning/markets/surveys/renewable/2023/>.
2. Bird L., et al. Wind and solar energy curtailment: A review of international experience // *Renew Sustain. Energy Rev.* – 2016. – № 65. – P. 577–586.
3. Robu V., Früh W.G., Andoni M. Strategic decision-making on low-carbon technology and network capacity investments using game theory. – 2020. URL: <http://hdl.handle.net/10399/4382>.
4. Sedzro K.S., et al. Evaluating the Curtailment Risk of Non-Firm Utility-Scale Solar Photovoltaic Plants under a Novel Last-In First-Out Principle of Access Interconnection Agreement // *Energies.* – 2021. – № 14. – P. 1463.
5. Bird L., Cochran J., Wang X. Wind and solar energy curtailment: experience and practices in the United States. – 2014. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60983.pdf>
6. Alyami S., Wang C. Renewable Curtailment Fairness in Distribution Networks: Application of Division Rules // 2022 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM). – Denver, CO, USA, 2022. – P. 1–5.
7. Цыденов Е.А., Прохоров А.В. Автоматическое управление выработкой активной мощности ветроэлектростанций в условиях ограничений пропускной способности сети // *Электроэнергия. Передача и распределение.* – 2022. – № 4. – С. 28–36.

# ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТОРО ЭНЕРГОБЛОКА ОДЭК АО «СХК» С РЕАКТОРОМ «БРЕСТ-ОД-300»

*Коробейников Е.А.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Ведущий инженер по ремонту ГППРпоТОиР ОППР энергоблока ОДЭК АО «СХК»  
e-mail: EvAKorobeynikov@rosatom.ru*

## **Введение**

На территории Сибирского Химического Комбината (далее - АО «СХК»), предприятие Топливной компании Росатома «ТВЭЛ» (далее – АО «ТВЭЛ»), реализуется строительство инновационного опытно-демонстрационного энергокомплекта (далее – ОДЭК) с уникальной реакторной установкой «БРЕСТ-ОД-300».

У АО «ТВЭЛ» и ее дочерних обществ есть обширный опыт в области технического обслуживания и ремонта (ТОиР) оборудования объектов использования атомной энергетики, при этом отсутствует опыт по ТОиР атомных станций (далее – АС). Компетенции по ТОиР оборудования АС сконцентрированы в Концерне Росэнергоатом (далее – АО «КРЭА») являющимся оператором российских АС с референтными энергоблоками.

## **Система ТОиР энергоблока**

В связи с отсутствием в АО «ТВЭЛ» и ее дочерних обществах релевантного опыта по ТОиР ядерных реакторных установок АО «СХК» потребовалось разработать собственную нормативную документацию в области ТОиР энергоблока ОДЭК АО «СХК» с реактором «БРЕСТ-ОД-300» (далее – ЭБ). При разработке нормативной документации требовалось вписать вновь разработанную документацию в существующую организационную структуру и систему ТОиР [1, 2, 3], действующую в АО «СХК», с использованием опыта АО «КРЭА».

Предприятия выполняют планирование, подготовку и организацию ремонтов для обеспечения постоянной работоспособности оборудования. ЭБ представляет собой совокупность сложных последовательно-параллельных структур и является сложной системой с точки зрения теории систем.

В теории надежности системой является совокупность элементов или подсистем, конструктивно или функционально объединенных в соответствии с определенным алгоритмом взаимодействия с целью выполнения определенной функции в процессе использования по назначению. Возникновение функциональной избыточности привело к делению систем на простые и сложные.

Простая система находится только в двух состояниях: работоспособности (исправности) и отказа. При отказе элемента простая система прекращает выполнение своей функции полностью, или продолжает ее выполнение, если отказавший элемент резервирован.

Сложная система при отказе некоторых элементов или подсистем может быть частично работоспособной с потерей эффективности, что обеспечивается функциональной избыточностью. Отказ системы - событие, возникшее в результате выхода характеристик эффективности за установленный допустимый предел, величина которого характеризует частичное или полное невыполнение системой своих функций [4, с. 29].

Функциональная избыточность системы обеспечивается набором конструктивных мер, а именно структурным и функциональным резервированием, временной, информационной, алгоритмической и программной избыточностью. Резервирование объекта требуется в случаях несоответствующей надежности элементов объекта, не соблюдения режимов и условий их использования.

Усложнение систем приводит к росту количества отказов, и, как следствие, невыполнению системой своих функций; удорожанию процесса эксплуатации, технического обслуживания и ремонта, и, как следствие, удорожанию выпускаемой продукции, что в целом обуславливает необходимость обеспечения требуемого уровня надежности. Аналогично резервирование удорожает объект в целом, включая его техническое обслуживание и ремонт (далее – ТОиР).

Основными свойствами ЭБ с позиций теории надежности и теории систем, влияющими на показатели надежности и готовности, являются:

1. Наличие уникальных, малосерийных и крупносерийных элементов, входящих в состав ЭБ. Например, корпус реактора, активная зона в целом, системы управления и защиты — это уникальное оборудование. Главный циркуляционный насос, теплообменники, парогенераторы, сепараторы, трубопроводы большого диаметра – малосерийное оборудование. Запорно-регулирующая аппаратура,

трубки парогенераторов, блоки системы управления, тепловыделяющие элементы (ТВЭЛ) и тепловыделяющие сборки (ТВС) – объекты крупносерийного производства (изготовления).

2. Восстанавливаемость элементов и необходимость в планово-профилактических работах. При появлении отказов некоторые элементы, являясь восстанавливаемыми, заменяются на новые. Как правило, к невосстанавливаемым относятся объекты крупносерийного производства (изготовления), к восстанавливаемым – объекты малосерийного и уникального производства. Восстанавливаемые и невосстанавливаемые элементы подвергаются плановой профилактике.

3. ЭБ является сложной системой.

4. ЭБ имеет функциональную избыточность.

5. ЭБ состоит из многообразных конструктивных элементов, имеющих разнообразные отказы. Для механических, гидравлических, электротехнических, электронных и других систем ЭБ характерны различные виды отказов, обусловленные комплексом эксплуатационных нагрузок – силовых, тепловых, радиационных, электромагнитных и других, что существенно усложняет процессы диагностирования их технического состояния и анализа надежности.

6. Необходимость использования автоматических и автоматизированных систем контроля и управления ЭБ, которые, в свою очередь, также требуют обслуживания.

7. Наличие человека в контуре управления ЭБ. Способность обработки человеком огромных массивов данных, включая поступающие дискретные и аналоговые сигналы, ограничена. Как следствие, возникает необходимость отбора информации для анализа и внедрения специальных систем распознавания последовательности и причин срабатывания автоматики.

Для ЭБ АО «СХК» основные правила организации, планирования, подготовки работ по ТОиР, обеспечения качества работ, оценки и анализа эффективности ремонта объектов ТОиР установлены в положении по организации технического обслуживания и ремонта систем и оборудования энергоблока с реакторной установкой «БРЕСТ-ОД-300» [5], разработанным автором настоящей статьи.

В положении дано определение ТОиР как системы организационно-технических мер по обеспечению безопасности ЭБ, последовательно реализуемых на всех этапах жизненного цикла ЭБ. Являясь неотъемлемым элементом эксплуатации станции, система ТОиР ставит целью обеспечение безопасной и надежной эксплуатации ЭБ экономически эффективным и экологически приемлемым способом при безусловном приоритете обеспечения безопасности.

Система технического обслуживания и ремонта представляет собой совокупность взаимосвязанных средств, документации и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления объектов, входящих в эту систему (рис. 1)

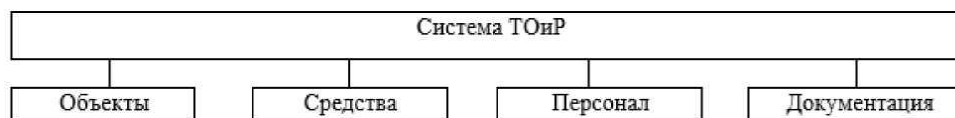


Рис 1. Структура системы технического обслуживания и ремонта [6]

Рассмотрев существующую систему ТОиР ЭБ можно выделить следующие перспективные методы увеличения эффективности:

- импортозамещение SAP TK ERP TOPO на специализированную для АС автоматизированную систему управления (далее – АСУ) ТОиР;
- внедрение интернета вещей (IoT).

### **Импортозамещение SAP TK ERP TOPO на специализированную АСУ ТОиР для АС**

В настоящий момент на АО «СХК» используется импортная система для организации ТОиР SAP TK ERP TOPO, которая имеет следующие недостатки и потенциал для повышения эффективности:

- низкий уровень автоматизации процессов;
- отсутствие возможности календарно-сетевое планирование ремонтной компании;
- отсутствие учета дефектов оборудования;
- отсутствие возможности управления и контроля ресурсом элементов энергоблока;
- отсутствие возможности управления и контроля нарядно-допусковой системой;
- отсутствует учет проведения вибродиагностики систем и оборудования;
- отсутствует возможности управления и контроля обходами;

– система импортная, принадлежащая компании из недружественной страны, с отсутствием возможность продления лицензии на использование.

На рынке ЕАМ-систем существуют следующие отечественные альтернативы: «Галактика ЕАМ», «1С:ТОИ», «Т-FLEX ТОиР», «АСМО-ТОиР», «TRIM», ПО «ЛМ Софт ЕАМ», «Система управления ТОиР оборудования «Rubius DrEAM», «АКСИОМА», «АСУРЭО», «ТОРЭКС».

Из перечисленных систем «ТОРЭКС» и «АКСИОМА» обладают возможностью учета специфики процессов оперативной эксплуатации АС, а также не имеют вышеупомянутых недостатков SAP TK ERP ТРО и могут быть рекомендованы к внедрению на ЭБ АО «СХК».

Преимущества от перехода на АСУ «ТОРЭКС» или «АКСИОМА»:

- исключение ненужных операций;
- повышение оперативности управления;
- уменьшение числа управленческих ошибок;
- управление человеческими ресурсами в период пиковой потребности;
- планирование человеческих ресурсов.

### **Внедрение интернета вещей**

Ожидаемый эффект от внедрения технологий интернета вещей в России в электроэнергетике до 2025 года по оценке РwС около 532 млрд рублей [7].

Под «вещами», в области ТОиР, подразумеваются «объекты» ТОиР.

Можно выделить два основных направления повышения эффективности ТОиР с использованием промышленного интернета вещей:

- мониторинг и оптимизация работы оборудования;
- предиктивный сервис.

Внедрение промышленного интернета вещей в существующую систему управления производственными процессами приведет к исключению человека из части действий и операций и минимизирует влияние «человеческого фактора», что в свою очередь помимо повышения эффективности управления процессами позволит повысить безопасность ЭБ.

Особое значение во внедрении интернета вещей имеет сбор больших данных (Big data). Без организации накопления, обработки и хранения данных невозможен их анализ. Необходима платформа агрегации данных для возможности их нормализации и получения полных данных специалистам. Также необходимо вводит в организационную структуру специалистов по анализу данных.

Внедрение алгоритмов машинного обучения (ML), в том числе глубоких нейронных сетей, позволит более точно определять и предсказывать изменение технического состояние (далее – ТС) оборудования ЭБ.

В настоящий момент менее 5 % оборудования ЭБ будет иметь датчики для сбора диагностической информации и оценки ТС, что имеет значительный потенциал роста.

Преимуществами от внедрения промышленного интернета вещей в систему ТОиР ЭБ:

- снижение расходов на ТОиР;
- повышение времени бесперебойной работы оборудования и сокращение его простоя;
- автономная агрегация, обработка данных и предоставление готовых вариантов решений для принятия человеком финального решения о необходимости проведения ТОиР того и иного объекта;
- визуализация данных для контроля протекания ремонтной компании ЭБ и улучшения качества планирования;
- интеграция данных в системы АО «СХК» и топливной компании.

### **Заключение**

Реализация на АО «СХК» выделенных в настоящей статье методов повышения эффективности системы технического обслуживания и ремонта оборудования ЭБ позволит снизить затраты, сократить время протекания процессов, а также повысить уровень организованности и безопасность ЭБ.

### **Список использованных источников**

1. СТК-97 Интегрированная система менеджмента. Порядок организации обслуживания и ремонта оборудования. Общие положения: стандарт топливной компании: дата введения 2020-04-21 / Акционерное общество «ТВЭЛ». – 2020. – 78 с.

2. СТО 333-2019 Интегрированная система менеджмента. Управление инфраструктурой. Оборудование, подведомственное службе главного энергетика комбината. Техническое обслуживание и ремонт: стандарт организации: дата введения 2019-10-14 / Акционерное общество «Сибирский химический комбинат». – 2023. – 27 с.
3. СТО 122-2023 Интегрированная система менеджмента. Управление инфраструктурой. Оборудование, подведомственное службе главного механика комбината. Техническое обслуживание и ремонт: стандарт организации: дата введения 2023-10-20 / Акционерное общество «Сибирский химический комбинат». – 2023. – 50 с.
4. Острейковский В.А. Эксплуатация атомных станций: Учебник для вузов. – М. : Энергоатомиздат, 1999. – 928 с.
5. П 110-03-233-2023 Положение по организации технического обслуживания и ремонта систем и оборудования энергоблока с реакторной установкой «БРЕСТ-ОД-300»: нормативный документ предприятия: дата введения 2023-07-10 / Акционерное общество «Сибирский химический комбинат». – 2023. – 136 с.
6. ГОСТ 18322-2016 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения: национальный стандарт: дата введения 2017-09-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. [Электрон. ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200144954>
7. РвС подсчитала эффект для экономики РФ от внедрения Интернета вещей [Электрон. ресурс] – 2017. URL: <https://www.banki.ru/news/lenta/?id=9920936>



## РЕШЕНИЕ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ АНАЛИЗАТОРА ПРОТОННОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ПМРА-IV НА ОСНОВЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

*Нгуен Д.А.<sup>1</sup>, Кашаев Р.С.<sup>2</sup>, Арсланов А.Д.<sup>3</sup>, Чан В.Т.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> КГЭУ, ПМ, аспирант, e-mail: navypro1991@gmail.com

<sup>2</sup> КГЭУ, ПМ, д.т.н, профессор, e-mail: kashaev2007@yandex.ru

<sup>3</sup> КГЭУ, ПМ, аспирант, e-mail: arslanovad97@gmail.com

<sup>4</sup> Ханойский промышленный университет, к.т.н, преподаватель, e-mail: tungtv@hau.edu.vn

### Введение

В настоящее время Интернет вещей (ИВ) является тенденцией развития во многих секторах экономики. Однако в нефтегазовом секторе разработка интеллектуальных нефтяных месторождений с применением интеллектуальных технологий для мониторинга и управления процессом добычи нефти наряду с экспресс-онлайн анализаторами на месторождении по-прежнему ограничена.

Современные системы мониторинга и управления на нефтяных месторождениях часто основаны на SCADA или беспроводных сенсорных сетях (БСС), и даже современные устройства для анализа нефти не имеют возможности осуществлять дистанционный мониторинг и управление. Поэтому дистанционный мониторинг и наблюдение за изменениями параметров нефти на скважинах еще невозможны.

В данной статье авторы представляют решение, позволяющее использовать ИВ для интеллектуализации процесса мониторинга и управления параметрами нефти на скважинах с помощью протонного магнитного резонансного анализатора ПМРА-IV, разработанного в КГЭУ.

### Описание алгоритма

Понятия «умное нефтяное месторождение» и «цифровое месторождение» [1] – это новые термины, разработанные в последние годы в связи с применением новых технологий в процессе добычи нефти и оперативного, прямого контроля параметров нефти, с основным акцентом на технологии Больших данных (БД) и ИВ. Использование таких систем позволяет увеличить добычу нефти на 10–25 % и снизить потери энергии до 8 % [2, 3]. Однако, к сожалению, нефтегазовая промышленность Российской Федерации значительно отстает от темпов развития умных цифровых (smart) месторождений в плане эксплуатации и мониторинга добычи нефти. Также следует учитывать объективный фактор – расположение нефтяных месторождений в суровых географических условиях, нехватка инфраструктуры, а также санкции, что замедляет процесс внедрения интеллектуальных технологий в производство на нефтяных месторождениях.

Еще одной задачей, рассматриваемой в процессе интеллектуализации нефтедобывающей отрасли, является разработка быстрых и прямых анализаторов нефти, способных подключаться к системам удаленного управления и мониторинга, а также к сети Интернет. Анализаторы нефти, основанные на протонном магнитном резонансе (ПМР) [4, 5], доказали, что они являются единственными устройствами, способными быстро определять характеристики и состав нефти без контакта и разрушения образца в рамках одного анализатора (ПМРА) [6]. Однако объем данных, генерируемых анализатором ПМРА, очень велик, поэтому методы передачи данных с использованием SCADA кажутся неподходящими [7] из-за значительных задержек, короткого расстояния передачи и высоких требований к инфраструктуре. Поэтому использование технологии ИВ для анализатора ПМРА, чтобы подключаться и передавать данные на вторичные устройства и методы анализа, такие как использование нейронных сетей для анализа состава нефти, нефтяной эмульсии и других компонентов [8], является неотложной задачей. Преимуществами данного метода являются упрощение структуры инфраструктуры, возможность хранения и анализа больших объемов данных, а также доступ к ним из любой точки без строгих требований к устройствам доступа.

Исходя из того, что месторождения расположены в удаленных районах с низким уровнем технической инфраструктуры, отсутствием подключения к интернету или сигнала 4G. представленное в статье решение в основном направлено на выполнение задачи передачи данных на большие расстояния с низкой задержкой, высокой пропускной способностью и созданием облачного сервера, чтобы конечные устройства, такие как компьютеры, мобильные телефоны и т.д., могли получить доступ для мониторинга и загрузки данных. На рисунке 1 представлено описание решения для мониторинга и контроля параметров анализатора ПМРА -IV на основе технологии ИВ.



Рис. 1. Мониторинг и контроль выходных параметров анализатора ПМРА-IV на базе ИВ

Анализатор ПМРА-IV размещается вблизи скважин для непрерывного мониторинга изменения параметров нефти. Анализатор подключен к интернету через Шлюз. Однако, как отмечается в задаче, места добычи нефти часто не имеют интернет-покрытия, поэтому в структуре шлюза дополнительно используются устройства для передачи радиосигналов, которые обычно применяются в системах ИВ, такие как: LoRa, NB-IoT и т.д. Интернет- роутер устанавливается в местах с доступом к интернету. На этих станциях располагаются приемники радиосигналов, которые затем преобразуют данные и отправляют их на облачный сервер. Через IP-адреса и браузеры конечные устройства, такие как компьютеры и мобильные телефоны, подключаются к месту хранения данных, загружают и обрабатывают их в соответствии с конкретными потребностями.

В случае, если скважины находятся в зоне с интернет-покрытием, шлюзы могут напрямую подключаться к интернету и отправлять данные с анализатора ПМРА-IV на облачный сервер, минуя станции интернет-роутер.

В настоящее время существует множество поставщиков облачных серверов для приложений Интернета вещей, таких как Amazon, Google,.... или Яндекс в России. Обычно пользователи должны платить за аренду или покупку пакета услуг у этих поставщиков. Однако пользователи также могут использовать бесплатные облачные серверы от других поставщиков. Несмотря на ограниченный набор дополнительных услуг, для целей хранения данных таких бесплатных облаков вполне достаточно.

Авторы разработали систему мониторинга параметров потока жидкости от анализатора ПМРА-IV в интерфейсе сайта для облегчения процесса мониторинга, контроля и получения данных. Данные передаются с анализатора ПМРА-IV на облачный сервер с помощью бесплатного сервиса от провайдера Somee.com. Через адрес доступа: <http://mayphantich.somee.com> пользователи могут отслеживать параметры, которые анализатор отправляет на облачный сервер. Данные, загружаемые из облака, сохраняются в формате файлов Excel, что обеспечивает удобный доступ к параметрам и проведение анализа.

Рис. 2. Интерфейс входа в систему

Интерфейс после входа в систему показан на рис. 3. Слева расположено большое меню для выбора таких функций, как «Мониторинг – Monitor», «Отчет – Report», «Управление - Control» и «Выход – Logout». На рис. 3 показан интерфейс при выборе меню «Мониторинг – Monitor» для отслеживания изменений параметров нефти в режиме реального времени. Изменение визуально отображается в

виде диаграммы, мгновенное значение измерения отображается в виде измерителя Гауза. Значения измерений сохраняются до 3 месяцев, изменения параметров можно отслеживать в течение многих периодов времени, таких как 1 час, 6 часов, 1 день и т. д.

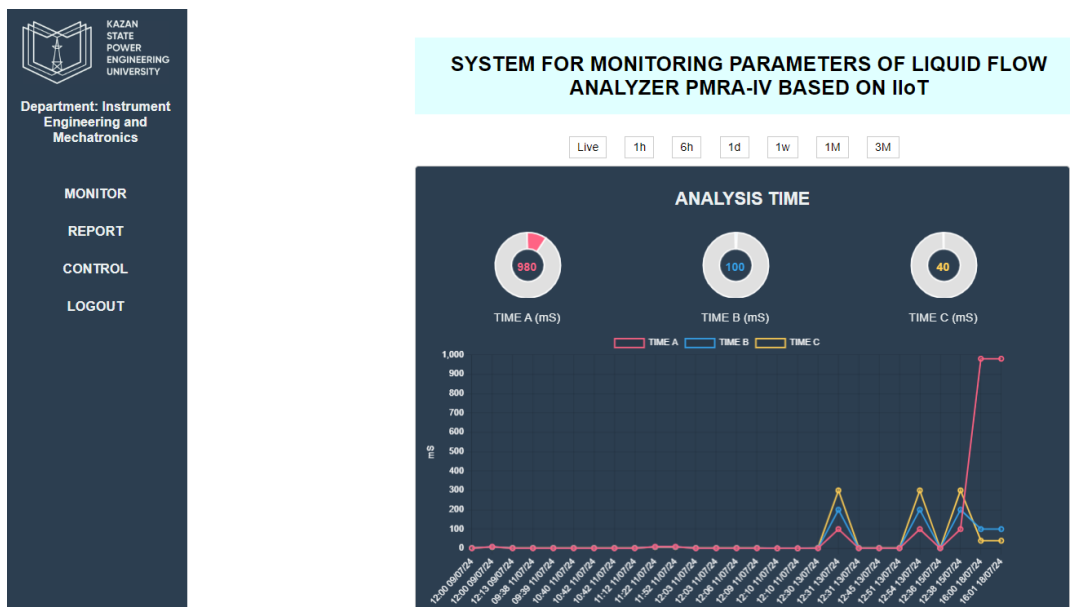


Рис. 3. Интерфейс меню «Мониторинг – Monitor» для контроля изменения параметров нефти на выходе анализатора ПМРА-IV

На рис. 4 показан интерфейс «Отчет – Report», который позволяет пользователю полностью отслеживать все изменения параметров после анализа и точное время выполнения этих анализов. Эти данные экспортируются и загружаются на компьютер в формате *Excel* после нажатия кнопки «Экспорт Excel».

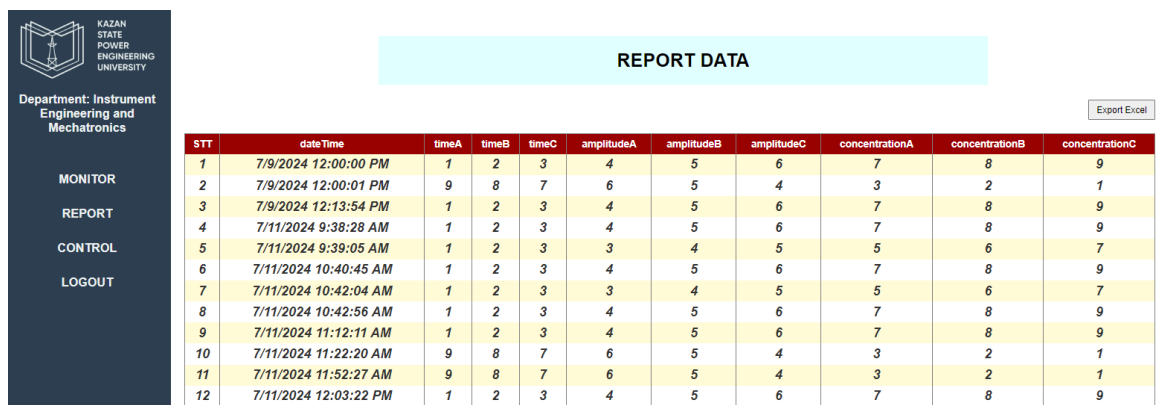


Рис. 4. Интерфейс «Отчет – Report» для экспорта данных и загрузки на компьютер

## Заключение

Интернет вещей постепенно становится популярным и помогает значительно повысить эффективность многих секторов экономики. Это считается технологией будущего. В нефтегазовой отрасли технология ИВ имеет множество возможностей применения для развития и повышения эффективности добычи нефти. Результаты исследований авторов открывают множество возможностей для применения ИВ для интеллектуализации устройств анализа нефти на основе ПМР, позволяя получить прямой доступ к аналитическим данным ПМРА без прямых манипуляций с анализатором.

## Список использованных источников

1. Абдрахманова Г.И., Быховский К.Б., Веселитская Н.Н., Вишневецкий К.О., Гохберг Л.М. и др. ; рук. авт. кол. П.Б. Рудник ; науч. ред. Л.М. Гохберг, П.Б. Рудник, К.О. Вишневецкий, Т.С. Зинина; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – С. 61.

2. Rosendahl T., Hepso V. Integrated operations in the oil and gas industry: sustainability and capability development // Imprint of IGI Global. – 2013.
3. Тихомирнов Л. И. Цифровизация: ключевые факторы успеха // Нефтегаз. – 2019. – № 1–2. – С. 142–143.
4. Kashaev R., Anh N.D., Kozelkova V., et al. Online Multiphase Flow Measurement of Crude Oil Properties Using Nuclear (Proton) Magnetic Resonance Automated Measurement Complex for Energy Safety at Smart Oil Deposits // Energies. – 2023. – Vol. 16 (3). – P. 1080.
5. Kashaev R.S., Nguyen D.A., Kozelkov O.V. Apparatus-program complex for on-line express- control of crude oils properties by proton magnetic resonance method. Practice Oriented Science: UAE - RUSSIA – INDIA // Proceedings of the International University Scientific Forum. UAE, 2023. – P. 213–220.
6. Кашаев Р.С., Нгуен Дык Ань, Козелков О.В. Проточный экспресс-анализатор протонного магнитного резонанса в составе промышленного интернета вещей // Изв. вузов. Приборостроение. – 2024. – Т. 67, № 5. – С. 425–434. DOI 10.17586/0021-3454-2024-67-5-425-434.
7. Ramzey H., Badawy M., Elhosseini M., Elbaset A. I2OT-EC: A Framework for Smart Real-Time Monitoring and Controlling Crude Oil Production Exploiting IIOT and Edge Computing // Energies. – 2023. – Vol. 16. <https://doi.org/10.3390/en16042023>.
8. Ovseenko G.A., Kashaev R.S., Kozelkov O.V., et al. Improving the information veracity of the complex of multiparametric control of the relaxometer based on a neural network. // Proceedings of the 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2023.

# МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГРУППОЙ АВТОНОМНЫХ РОБОТОВ

*Лазарев В.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Южный Федеральный Университет, Институт радиотехнических систем и управления, ассистент, *vlazarev@sfnedu.ru*

## **Введение**

Россия – самая большая страна в мире. В связи с этим в нашей стране имеется протяженная на многие километры энергетическая инфраструктура, состояние которой необходимо постоянно отслеживать, осуществляя своевременное обслуживание. Бурное развитие робототехники за последнее десятилетие в мире, и в нашей стране в частности, подчеркивает актуальность применения роботов для решения данной задачи.

Целью данной работы являлось предложение собственного метода управления группой автономных роботов для проверки состояния энергетической инфраструктуры, что позволит сократить затраты на её мониторинг.

## **Основная часть**

Изначально все роботы создавались для того, чтобы человек мог отказаться от выполнения опасной или рутинной для него работы. Говоря о современных роботах, невозможно не отметить тот факт, что колоссальное развитие получили именно дроны [1]. Об этом говорят факты: количество лицензий на управление дронами уже с 2016 года превысило количество лицензий пилотов, а общая численность дронов, в частности беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в нашей стране превысило 1,5 миллиона экземпляров уже 5 лет назад.

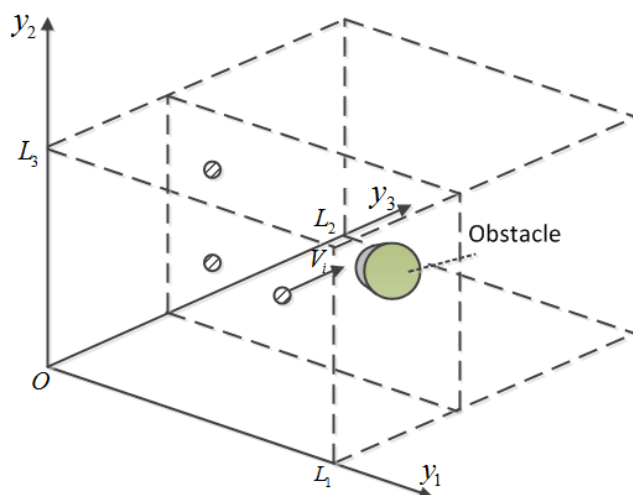
Говоря о применимости дронов для мониторинга объектов энергетической инфраструктуры, можно привести прогнозы министерства. Минэнерго РФ отмечало, что дроны непременно будут применяться для мониторинга объектов энергетической инфраструктуры. В частности, предполагают, что они заменят линейный персонал, который сейчас выполняет данную работу. Также дроны могут существенно упростить поиск неисправностей. Именно эта задача сейчас является наиболее трудоемкой [2].

С 2021 года применение дронов активно поддерживает ПАО «Россети». В источнике [3] отмечается, что использование БПЛА для мониторинга линий электропередачи (ЛЭП) позволит:

- увеличить эффективность ремонтных работ;
- сэкономить время специалистов и ресурс дорогостоящего в обслуживании измерительного оборудования;
- повысить безопасность работы персонала;
- осмотреть ЛЭП с большим удобством за счет осмотра с воздуха;
- оптимизировать конструкцию ЛЭП за счет построения и оперативного обновления модели инфраструктуры.

Подробный обзор методов, предполагающих применение дронов для задачи мониторинга энергетической инфраструктуры, приведен в статье [4] и монографии [5]. В этих работах сделан акцент на использовании одиночного автономного дрона для решения данной задачи. Соглашаясь с авторами, считаем, что использование группы дронов позволит существенно сэкономить ресурсы и оборудование, причем не только по сравнению с вертолетом или обходом линейного персонала, но и по сравнению с БПЛА, управляемого оператором или осуществляющего полет автономно. Преимущества группового управления перед одиночным подробно описаны в монографии [6].

Для решения задачи предлагается использовать метод группового управления, описанный автором в работе [7]. Научную новизну предлагаемого метода обеспечивает совместное применение триангуляции Делоне и стратегии децентрализованного управления группой роботов. Графическая постановка задачи представлена на рис. 1.

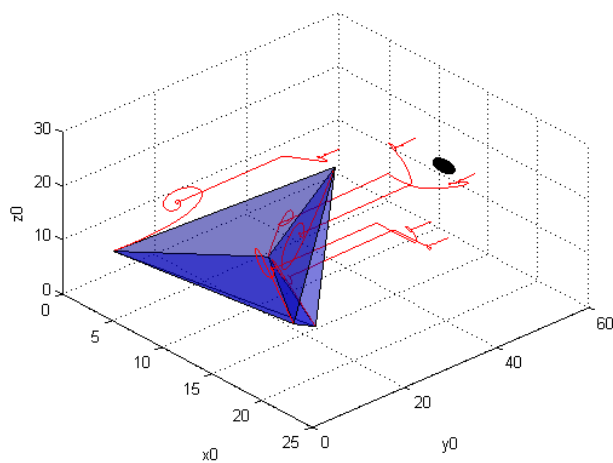


*Рис. 1. Постановка задачи*

Для построения роботов в трехмерной среде используется триангуляция Делоне [6]. Роботы движутся автономно без помощи оператора. Для моделирования были выбраны БПЛА AR-drone, представленные на рис. 2.



*Рис. 2. Квадрокоптер AR-drone*



*Рис. 3. Результаты моделирования метода*

На рис. 3 показано распределение группы БПЛА в пространстве и облет объекта инфраструктуры, каковой, например, может быть опора ЛЭП.

### **Заключение**

В заключении необходимо отметить, что именно групповое применение автономных роботов для решения задачи мониторинга объектов энергетической инфраструктуры позволит значительно повысить эффективность обслуживания инфраструктуры не только по сравнению с традиционными методами, но и по сравнению с существующими системами, использующими БПЛА.

В условиях нашей страны, где расстояния между городами могут исчисляться сотнями и тысячами километров это особенно актуально.

### **Список использованных источников**

1. Зачем нам дроны и как сделать их лучше // Хабр URL: <https://habr.com/ru/companies/toshibarus/articles/572336/> (дата обращения: 10.10.2024).
2. Региональные филиалы ПАО «Россети» будут оборудованы беспилотными технологиями при поддержке Aeromotus // Aeromotus URL: <https://aeromotus.ru/drony-v-sfere-elektroenergetiki/?ysclid=m29bu0p4my870990499> (дата обращения: 10.10.2024).
3. В Минэнерго рассказали о перспективах использования дронов в энергетике // TerraDrones URL: <https://terradrones.ru/blog/v-minenergo-rasskazali-o-perspektivakh-ispolzovaniya-dronov-v-energetike/?ysclid=m29bwwn8y8287354007> (дата обращения: 10.10.2024).
4. Беляев П.В., Головский А.П., Садаев Д.С.. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов при контроле и диагностике объектов энергетики // Динамика систем, механизмов и машин. – 2019. – №. 7(2). – С. 18–24.
5. Арбузов Р. С., Овсянников А. Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи: монография. – Новосибирск: Наука, 2009. – 135 с.
6. Белоглазов Д.А., Гайдук А.Р., Косенко Е.Ю., Медведев М.Ю., Пшихопов В.Х., Соловьев В.В., Титов А.Е., Финаев В.И., Шаповалов И.О. Групповое управление подвижными объектами в неопределенных средах / под ред. В.Х. Пшихопова. – М.: Физматлит, 2015. – 300 с.
7. Лазарев В.С. Методы группового управления БПЛА в неопределенной среде // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии управлении «КомТех-2022»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: в 2т., Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2022. – Т. 2. – С.114–119.

# ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ПОПЫТКАМ ПЕРЕХВАТА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СУПЕРСИСТЕМЫ, РЕАЛИЗУЕМЫХ ПУТЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ ПЛАТФОРМЫ

*Грабчак Е.П.<sup>1</sup>, Логинов Е.Л.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН), старший научный сотрудник, e-mail: Grabchak.euge@gmail.com*

<sup>2</sup> *Центральный экономико-математический институт РАН (ЦЭМИ РАН), советник директора, e-mail: loginovel@mail.ru*

## **Введение**

Особенностью быстро развивающегося процесса формирования комплекса новых угроз перехвата управления является возникновение возможности гибридных атак против институционально-организационной суперсистемы для перехвата управления ее элементами, реализуемых путем деструктивного воздействия на информационно-управляющие платформы органов государственного управления и инфраструктурных организаций с использованием сетевых атак [1]. Эти атаки могут быть дополнены возможностями применения электромагнитных импульсов и применения средств дистанционного воздействия на основе новых физических принципов (пучков направленной энергии или формированием критических характеристик внешней электромагнитной среды) с учетом динамики и условий проявления природной геофизической активности [2, 3].

## **Описание**

Для решения задачи формирования комплексного механизма управления сложными организационными системами в энергетике в условиях попыток блокирования процессов управления в органах государственного управления и инфраструктурных организациях по мнению авторов, необходима разработка методологии построения объектно-ориентированного комплекса мониторинга регистрируемых электротехнических и геофизических параметров и управляющих сигналов [4, 5]. Этот комплекс мониторинга должен собирать все доступные данные и обладать необходимой архитектурой и функциональностями для внедрения сервисов, которые адаптивно поддерживают возможность противодействия атакам на информационно-управляющие платформы и выдают управляющие сигналы техническим элементам поддерживающим работу организационных систем как пулу динамических объектов [6].

Такой объектно-ориентированный комплекс мониторинга должен позволить в условиях размытия границ между физическими, когнитивными и цифровыми пространствами деятельности и средами управления сформировать механизмы и интегрировать функции противодействия рискам потери управляемости суперсистемой (включая выработку управляющих команд) при нелинейности и нестационарности влияния сторонних факторов. Требуется регулирование (координация в условиях ограничений) процессов и механизмов противодействия реализации в отраслевом или территориальном сегменте суперсистемы угроз блокирования управления со стороны деструктивных сил в единой системе информационно-аналитических и управляющих сервисов, которые адаптивно поддерживают активное поле противодействия атакам по группе наиболее значимых для энергетики России организационных агентов.

Формирование объектно-ориентированного комплекса мониторинга должно интегрировать мониторинг различных сред управления в рамках суперсистемы, включающей как технические, так и биологические объекты (людей, животных), с учетом возможностей повышения наблюдаемости совокупности проявлений сетевых атак, электромагнитных полей и различных радиоизлучений.

Мониторинг должен опираться на суперкомпьютерные технологии как интегративный функционал процессов программно-аппаратного конфигурирования информационно-управляющих платформ, для того, чтобы использовать математические сервисы для мониторинга сетевых атак и внешней электромагнитной активности, а также значений регистрируемых электротехнических и геофизических параметров и анализа управляющих сигналов в системе для поддержания устойчивости процессов управления в обычных условиях, в условиях чрезвычайных ситуаций, в особый период и в условиях проведения специальных военных операций.

Результат должен обеспечивать выявление и идентификацию сетевых атак и умышленных электромагнитных воздействий (атак) с возможностью оперативного принятия мер для поддержания устой-



чивости работы энергетического сегмента институционально-организационной суперсистемы, включающей различные подсистемы, а также технических, военных и оперативно-розыскных мероприятий в отношении источника ЭМИ-атаки.

### **Заключение**

Информация от системы мониторинга служит основой для выработки управленческих решений как на уровне федерального центра (ситуационно-аналитические центры ФОИВ), так и на уровне ситуационных центров наиболее значимых инфраструктурных организаций и субъектов Российской Федерации.

### **Список использованных источников**

1. Грабчак Е.П., Логинов Е.Л. Новые возможности атак электромагнитными импульсами на объекты критической инфраструктуры // Трансформация современной войны: Материалы III Всероссийской научной конференции. – Омск : Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева, 2024. – С. 108–112.
2. Грабчак Е.П., Логинов Е.Л. Проблемы защиты информационных систем и систем автоматического и автоматизированного управления в электроэнергетике от космических и воздушных средств создания сигналов помех и воздействия ЭМИ // Энергетика и энергосбережение: теория и практика. Сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции. – Кемерово : КузГТУ, 2020. – С. 307-1–307-3.
3. Грабчак Е.П., Логинов Е.Л. Противодействие угрозам воздействия электромагнитного импульса: стратегические подходы к защите критической энергетической инфраструктуры в США // Вестник Российского нового университета, Серия «Сложные системы: модели, анализ, управление». – 2021. – №2. – С.74–84.
4. Грабчак Е.П., Логинов Е.Л. Угрозы работе информационно-управляющих систем в энергетике России в условиях трансформации технологий и средств воздушно-космического нападения развитых государств // VI-технологии и корпоративные информационные системы в оптимизации бизнес-процессов. Материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург : УГЭУ, 2021. – С. 64–66.
5. Логинов Е.Л. Обеспечение безопасности и устойчивости работы сложных организационных систем в условиях природных и техногенных электромагнитных воздействий. – М. : МНИИПУ, 2024. – 419 с.
6. Макаров В.Л., Агеев А.И., Бахтизин А.Р., Грабчак Е.П., Логинов Е.Л. Моделирование последствий ядерного удара // Экономические стратегии. – 2022. – Т. 24, № 4 (184). – С. 6–9.

# ИНТЕГРАЦИЯ IoT И ПЕРЕДОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВЕТРОВЫХ ТУРБИН В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

*Аль Уатик Х.С.<sup>1</sup>, Пронин С.П.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, пр. Ленина, 46, 656038, Россия, г. Барнаул, Россия, e-mail: alh@dr.com*

<sup>2</sup> *Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, пр. Ленина, 46, 656038, Россия, г. Барнаул, Россия, e-mail: sppronin@mail.ru*

## Введение

Переход к возобновляемым источникам энергии привел к значительным достижениям в области технологий ветроэнергетики, что способствовало созданию более крупных и сложных ветрогенераторов. Эти изменения повышают необходимость в надежных системах мониторинга для обеспечения бесперебойной работы турбин. Редукторы, являющиеся ключевыми элементами ветрогенераторов, подвергаются значительным механическим нагрузкам, что делает их уязвимыми к сбоям, способным привести к дорогостоящим простоям. Традиционные методы мониторинга, основанные на централизованной обработке данных, сталкиваются с такими проблемами, как задержка данных, ограниченная пропускная способность и сложности обработки больших объемов данных в режиме реального времени.

Интеграция технологий Интернета вещей (IoT) и передовых вычислений на периферии (edge computing) предлагает решение этих проблем. Устройства IoT, оснащенные различными датчиками, непрерывно собирают данные о состоянии компонентов ветрогенераторов, включая редукторы. Передовые вычисления обрабатывают эти данные локально, рядом с источником их генерации, что снижает задержку и позволяет получать информацию в режиме реального времени. Целью данного исследования является изучение интеграции IoT и передовых вычислений для мониторинга ветрогенераторов в режиме реального времени, с акцентом на улучшение обнаружения неисправностей и оптимизацию процессов обслуживания. Предлагаемый подход направлен на повышение надежности и эффективности работы ветрогенераторов за счет локальной обработки данных и своевременного принятия решений.

## Устройства IoT для мониторинга ветрогенераторов

Устройства IoT составляют основу систем мониторинга в реальном времени для ветрогенераторов, обеспечивая непрерывный контроль за критически важными компонентами с помощью различных современных датчиков. Эти устройства позволяют детально отслеживать состояние редуктора, который является важной частью работы турбины, путем сбора и анализа различных физических параметров.

- **Датчики вибрации:** Эти датчики обнаруживают ранние признаки износа и потенциальных неисправностей в компонентах редуктора, анализируя вибрационные сигналы и выявляя такие проблемы, как несоосность, дисбаланс и износ зубьев шестерен [2].

- **Датчики температуры:** Мониторинг теплового состояния компонентов редуктора с помощью температурных датчиков позволяет выявлять аномалии, которые могут указывать на проблемы с смазкой, неисправности подшипников или избыточное трение, что может негативно сказаться на работе турбины [3].

- **Тензодатчики:** Тензодатчики измеряют напряжение и деформацию, испытываемые компонентами редуктора, что помогает обнаруживать структурные проблемы, которые могут повлиять на целостность и долговечность редуктора [6].

- **Акустические датчики:** Эти датчики улавливают звуковые волны, создаваемые редуктором во время работы, и по изменениям в акустическом сигнале можно выявлять трещины, трение или другие механические неисправности [1].

Датчики IoT непрерывно собирают данные о состоянии работы редуктора и передают их на устройства периферийных вычислений для мгновенного анализа. Эта возможность является ключевой для своевременного обнаружения неисправностей и проведения обслуживания, что позволяет операторам устранять потенциальные проблемы до того, как они приведут к серьезным сбоям.

## **Периферийные вычисления в мониторинге ветрогенераторов**

Периферийные вычисления играют ключевую роль в мониторинге ветрогенераторов, обеспечивая анализ данных в реальном времени непосредственно на месте их сбора. Обработывая данные с датчиков локально, периферийные вычисления позволяют мгновенно выявлять аномалии, что способствует быстрому принятию решений. Эта возможность является критически важной для предотвращения отказов редукторов и сокращения времени простоя турбин, так как операторы могут оперативно реагировать на информацию, поступающую в режиме реального времени [5].

Помимо анализа в реальном времени, периферийные вычисления повышают эффективность работы с данными за счет методов предварительной обработки, таких как подавление шума и фильтрация. Оптимизируя данные до их передачи в облако, периферийные вычисления значительно снижают объем передаваемой информации, что ведет к сокращению использования полосы пропускания и затрат на хранение данных [4]. Такой подход не только уменьшает нагрузку на сеть, но и гарантирует доступ к важным данным для более глубокого анализа, когда это необходимо.

Кроме того, периферийные вычисления повышают уровень безопасности и конфиденциальности, поскольку большая часть обработки данных осуществляется локально. Это снижает риск утечек конфиденциальной операционной информации, минимизируя угрозу взлома данных. Такие меры особенно важны в промышленных приложениях, таких как мониторинг ветрогенераторов, где поддержание целостности и безопасности данных имеет первостепенное значение [9].

## **Преимущества интеграции IoT и периферийных вычислений**

Интеграция технологий IoT и периферийных вычислений в мониторинг ветрогенераторов предоставляет значительные преимущества, повышая надежность работы и эффективность обслуживания. Одним из основных преимуществ является улучшение обнаружения неисправностей. Обработка данных в реальном времени, обеспечиваемая периферийными вычислениями, в сочетании с непрерывным сбором данных с устройств IoT позволяет своевременно выявлять потенциальные проблемы. Такой проактивный подход способствует оперативному вмешательству, снижая риск серьезных сбоев и продлевая срок службы компонентов редуктора.

Кроме того, данная интеграция позволяет оптимизировать графики технического обслуживания. Непрерывный мониторинг состояния редуктора поддерживает стратегии предиктивного обслуживания, позволяя планировать ремонтные работы на основе фактического состояния компонентов, а не по фиксированным интервалам. Это приводит к значительной экономии средств и сокращению времени простоя [10].

Сочетание IoT и периферийных вычислений также повышает общую эффективность работы. Мониторинг в реальном времени дает операторам возможность своевременно выявлять и устранять проблемы, что позволяет максимизировать выработку энергии и минимизировать эксплуатационные расходы [8]. Возможность вносить корректировки в реальном времени гарантирует, что турбины будут работать на оптимальном уровне.

Более того, модульная структура систем IoT и периферийных вычислений делает их по своей природе масштабируемыми и адаптируемыми. Такая гибкость позволяет операторам легко интегрировать новые датчики и устройства по мере изменения требований к мониторингу, обеспечивая индивидуальные решения для различных конфигураций ветряных парков и поддержку будущих технологических достижений [4].

## **Проблемы внедрения IoT и периферийных вычислений**

Несмотря на значительные преимущества, которые дает интеграция IoT и периферийных вычислений в мониторинг ветрогенераторов, существуют несколько вызовов, которые необходимо преодолеть для успешного внедрения этих технологий. Одной из основных проблем является интеграция данных и их совместимость. Разнообразные устройства IoT, используемые в ветрогенераторах, генерируют данные в различных форматах, что затрудняет бесшовное взаимодействие между разными системами. Для обеспечения плавного обмена данными и их интеграции на разных платформах крайне важно разработать стандартизированные протоколы и интерфейсы [1].

Связь и надежность сетевой инфраструктуры также представляют собой серьезные вызовы. Передача данных в реальном времени сильно зависит от стабильных и высокоскоростных сетевых соединений, что может быть сложно обеспечить в удаленных местах, где расположены ветряные парки. Обеспечение надежной связи часто требует значительных инвестиций в создание мощной коммуникационной инфраструктуры для поддержки непрерывного мониторинга и потока данных [3].

Дополнительные трудности связаны с масштабируемостью и затратами. Расширение решений IoT и периферийных вычислений на крупные ветряные парки связано с существенными расходами на оборудование, программное обеспечение и обновление сетевой инфраструктуры. Поиск баланса между масштабируемостью и экономической эффективностью необходим для того, чтобы преимущества этих технологий оправдывали вложенные средства [6].

Кроме того, увеличение числа подключенных устройств усиливает риски, связанные с кибербезопасностью. По мере роста объема обработки и передачи данных увеличивается и вероятность кибератак, что угрожает безопасности и целостности конфиденциальных данных. Внедрение надежных мер кибербезопасности крайне важно для защиты данных и обеспечения непрерывной доступности и надежности систем мониторинга [9].

### **Перспективы и тенденции развития**

Будущее IoT и периферийных вычислений в мониторинге ветрогенераторов будет определяться рядом ключевых технологических достижений. Одной из важнейших тенденций является интеграция искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения с технологиями IoT и периферийных вычислений, что значительно расширяет возможности предиктивного обслуживания. Алгоритмы ИИ могут анализировать данные в реальном времени, чтобы предсказывать возможные неисправности и рекомендовать оптимальные меры по их устранению. Это не только повышает надежность работы турбин, но и обеспечивает их стабильную высокую производительность [10].

Рост популярности Edge AI, когда алгоритмы ИИ внедряются непосредственно на устройствах периферийных вычислений, представляет собой еще одно важное достижение. Такой подход позволяет выполнять анализ данных и принимать решения прямо на месте их генерации, снижая задержки и повышая оперативность систем предиктивного обслуживания. Edge AI способствует более эффективному мониторингу, делая его неотъемлемой частью будущей интеграции IoT и периферийных вычислений [4].

Внедрение сетей 5G также обещает сыграть значимую роль в развитии этих технологий. Высокоскоростные сети 5G с низкими задержками повысят уровень связи и надежность систем IoT и периферийных вычислений, обеспечивая беспрепятственную передачу данных даже в удаленных местах, где расположены ветряные парки. Такая улучшенная сетевая инфраструктура поддержит более надежный мониторинг в реальном времени и обмен данными, еще больше оптимизируя работу турбин [7].

Технология блокчейн представляет собой еще одну перспективную тенденцию для укрепления безопасности и прозрачности систем IoT и периферийных вычислений. Благодаря возможности создания децентрализованного и защищенного от подделки реестра, блокчейн может гарантировать целостность данных, собранных с ветрогенераторов, а также обеспечить безопасный обмен информацией между заинтересованными сторонами. Это делает блокчейн ценным инструментом для поддержания доверия и безопасности в условиях все более связанной среды мониторинга [9].

### **Заключение**

Интеграция IoT и периферийных вычислений для мониторинга ветрогенераторов в реальном времени предоставляет значительные преимущества, включая улучшенное обнаружение неисправностей, оптимизацию стратегий обслуживания, повышение эксплуатационной эффективности и большую масштабируемость. Эти технологии позволяют более точно и эффективно контролировать работу турбин, что способствует повышению надежности и производительности систем ветроэнергетики. Однако для полного раскрытия их потенциала необходимо решить такие задачи, как интеграция данных, надежность сети, масштабируемость и кибербезопасность.

С продолжающимся развитием ИИ, периферийных вычислений и сетевых технологий внедрение IoT и периферийных вычислений в мониторинг ветрогенераторов будет расширяться. Эти достижения будут способствовать повышению эффективности и устойчивости производства энергии, прокладывая путь к более устойчивому и надежному будущему в сфере возобновляемой энергетики.

Данное исследование наглядно показало, как интеграция IoT и периферийных вычислений может улучшить мониторинг ветрогенераторов в реальном времени. Решение таких задач, как интеграция данных и масштабируемость, способствует повышению надежности ветроэнергетических систем. Будущее развитие технологий ИИ и сетей связи, вероятно, еще больше оптимизирует эти системы, внося вклад в создание более устойчивого и эффективного сектора возобновляемой энергетики.

#### **Список использованных источников**

1. Ding S., Yang C., Zhang S. Acoustic-Signal-Based Damage Detection of Wind Turbine Blades – A Review // *Sensors*. – 2023. – № 23. – P. 4987. – URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/11/4987> (дата обращения: 7.10.2024). – DOI: <https://doi.org/10.3390/s23114987>.
2. Zhao L., Zhou Y., Matsuo I., Korkua S. K., Lee W.-J. The Design of a Holistic IoT-Based Monitoring System for a Wind Turbine // *2019 IEEE/IAS 55th Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)*. – Calgary, Canada, 2019. – С. 1–7. – DOI: 10.1109/ICPS.2019.8733375.
3. Mian T., Choudhary A., Fatima S. Multi-Sensor Fault Diagnosis for Misalignment and Unbalance Detection Using Machine Learning // *IEEE Transactions on Industry Applications*. – 2023. – Т. 59, № 5. – С. 5749–5759. – DOI: 10.1109/TIA.2023.3286833.
4. Mirani A. A., Awasthi A., O'Mahony N., Walsh J. Industrial IoT-Based Energy Monitoring System: Using Data Processing at Edge // *IoT*. – 2024. – Т. 5, № 4. – С. 608–633. – DOI: <https://doi.org/10.3390/iot5040027>.
5. Lu S., Lu J., An K., Wang X., He Q. Edge Computing on IoT for Machine Signal Processing and Fault Diagnosis: A Review // *IEEE Internet of Things Journal*. – 2023. – Т. 10, № 13. – С. 11093–11116. – DOI: 10.1109/JIOT.2023.3239944.
6. Zhang M., Liu Z., Shen C., Wu J., Zhao A. A Review of Radio Frequency Identification Sensing Systems for Structural Health Monitoring // *Materials*. – 2022. – Vol. 15, № 21. – С. 7851. – DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15217851>.
7. Borgaonkar R., Tøndel I. A., Degefa M. Z., Jaatun M. Improving smart grid security through 5G enabled IoT and edge computing // *Concurrency and Computation: Practice and Experience*. – 2021. – DOI: <https://doi.org/10.1002/cpe.6466>.
8. Udo S., Kwakye P., Ogundipe P., Ekechukwu D. Optimizing Wind Energy Systems Using Machine Learning for Predictive Maintenance and Efficiency Enhancement // *Computer Science & IT Research Journal*. – 2023. – Т. 4. – С. 386–397. – DOI: 10.51594/csitrj.v4i3.1398.
9. Rekeraho A., Cofas D. T., Cofas P. A., et al. Cybersecurity challenges in IoT-based smart renewable energy // *International Journal of Information Security*. – 2024. – Т. 23. – С. 101–117. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10207-023-00732-9>.
10. Afridi Y. S., Ahmad K., Hassan L. Artificial intelligence based prognostic maintenance of renewable energy systems: A review of techniques, challenges, and future research directions // *International Journal of Energy Research*. – 2021. – Дата публикации: 31 июля. – DOI: <https://doi.org/10.1002/er.7100>.

# АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОЦЕНКЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ И АНАЛИТИКИ

Шестаков А.С.<sup>1</sup>, Титов Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, студент гр. Э-22,  
e-mail: andshest237@gmail.com

<sup>2</sup> Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,  
Энергетический факультет, д.т.н., ведущий научный сотрудник, e-mail: 888tev888@mail.ru

## Введение

Анализ математических методов применительно к оценке переходных процессов в электрической сети с использованием технологии больших данных и аналитики - важная задача современной энергетики [1]. Переходные процессы, возникающие в электрических сетях при различных воздействиях, требуют внимания и точного анализа для обеспечения стабильной работы энергосистем. Технология больших данных и аналитики предоставляет возможность эффективного мониторинга и управления переходными режимами, выявления потенциальных технологических нарушений и предотвращения возникновения определенного типа аварийных ситуаций [2].

Применение синхронизированных векторных измерений позволяет детально изучать динамику изменения режимных параметров электрической сети и идентифицировать возмущения в ее работе. Анализ больших данных позволяет прогнозировать аварийные ситуации на основе трендов и характерных событий, предшествующих возникновению аварии. Использование машинного обучения позволяет эффективно выявлять неисправные компоненты электрической сети и моделировать взаимосвязанные системы изменяющихся переменных [3].

Однако сложность оценки переходных процессов возрастает в условиях наличия большого количества реактивных элементов в электрической сети. В таких случаях важно применять эффективные методы решения систем дифференциальных уравнений (СДУ) для упрощения и ускорения вычислительных операций [4]. Использование математических методов совместно с технологией больших данных и аналитики позволяет повысить эффективность и надежность работы электроэнергетических систем, обеспечивая стабильность и безопасность их функционирования.

## Основная часть

Анализ математических методов применительно к оценке переходных процессов в электрической сети с использованием технологии больших данных и аналитики является важным направлением исследований в области энергетики [3, 4]. Одним из таких методов является метод переменных состояния, основанный на составлении систем дифференциальных уравнений по контурам исследуемой сети после коммутации. Этот метод позволяет определить энергетическое состояние электросети, учитывая токи через индуктивные элементы и напряжения на емкостных элементах.

Существует несколько способов решения систем дифференциальных уравнений в нормальной форме Коши, таких как метод исключения, операторный метод для СДУ, метод Даламбера и ряд других методов, результат которых можно представить в виде (1) [4]. Методы, основанные на формуле Коши, направлены на нахождение матричной экспоненты с последующим применением соответствующих формул [2]. Например, метод исключения позволяет свести систему дифференциальных уравнений с матрицей системы к одному линейному неоднородному дифференциальному уравнению. Операторный метод для СДУ позволяет привести систему к набору алгебраических уравнений с использованием преобразования Лапласа [3].

$$X(t) = e^{At} \cdot X(0) + \int_0^t e^{A(t-\tau)} \cdot B \cdot U(\tau) d\tau, \quad (1)$$

где  $X(t)$  – переменные состояния в обобщенном смысле,

$X$  – вектор-столбец переменных состояния,

$U$  – вектор-столбец источников воздействия (источников тока и ЭДС),

$A, B$  – матрицы, элементы в которых определяются структурой электрической сети и значениями сопротивлений элементов [2, 3].

Методы, сопряженные с формулой Коши, в основном направлены на определение матричной экспоненты  $e^{At}$ , с последующим применением формулы (1) [2], основываясь на преобразовании Лапласа матричной экспоненты, нахождении матричной экспоненты от жордановой нормальной формы матрицы  $A$  и на следствии из теоремы Гамильтона-Кэли.

Метод исключения основан на сведении СДУ с матрицей системы  $A$  размерности  $n$ ,  $\dim(A) = n$ , к одному линейному неоднородному дифференциальному уравнению (ЛНДУ) порядка  $n$  путем последовательного дифференцирования одного уравнения системы по времени и подстановки в одно из оставшихся уравнений. Он является наиболее эффективным при  $\dim(A) \leq 2$  [2]. Основным его недостатком является громоздкость получаемого ЛНДУ при  $\dim(A) \geq 3$  и отсутствие универсальности метода.

Операторный метод для СДУ основан на приведении СДУ к системе алгебраических уравнений путем применения преобразования Лапласа к каждой строке системы, решению получившейся СДУ относительно изображений переменных состояния и применении обратного преобразования Лапласа к изображениям переменных состояний различными способами: непосредственно, по теореме разложения, по таблице оригиналов и изображений. Этот метод является более эффективным, чем метод исключения, поскольку он позволяет оценивать большую размерность матрицы-системы и допускает численное решение с использованием вспомогательных программ. Однако он также как и предыдущий метод характеризуется низкой универсальностью [4].

Метод Даламбера является одним из методов, используемым для анализа переходных процессов в электрической сети. Он основан на домножении уравнений системы на числовые коэффициенты, зависящие от собственных чисел матрицы  $A$ , последовательном сложении уравнений и решении линейного неоднородного дифференциального уравнения относительно линейной комбинации переменных состояния с выделением необходимых переменных состояния [2]. Данный метод позволяет получать численное решение ЛНДУ относительно линейной комбинации переменных состояния. Однако он имеет недостатки, такие как громоздкость расчетов и отсутствие универсальности для систем размерности больше 5 (при  $\dim(A) \geq 5$ ) [2].

Методы нахождения матричной экспоненты также используются для анализа переходных процессов, но они не всегда универсальны для матриц больших размерностей. Применение конкретного метода зависит от исследуемой электрической сети. Например, преобразование Лапласа матричной экспоненты позволяет находить экспоненту матрицы и численно интегрировать ЛНДУ относительно линейной комбинации переменных состояния. В соответствии с этим методом сначала находят

матрицу  $\frac{1}{p} \left( E - \frac{A}{p} \right)^{-1}$ , которая также может иметь вид  $(pE - A)^{-1}$  [4], где  $A$  – матрица системы

$\dot{X} = AX + BU$ ,  $p$  – операторная переменная, которая также используется в операторном методе,  $E$  – единичная матрица, совпадающая по размерности с  $A$ .

Далее находят обратное преобразование Лапласа для каждого элемента матрицы  $\frac{1}{p} \left( E - \frac{A}{p} \right)^{-1}$

и поэлементно получают  $e^{At}$ , т.к.  $\frac{1}{p} \left( E - \frac{A}{p} \right)^{-1} \xrightarrow{L^{-1}} e^{At}$ . Обратное преобразование Лапласа может

быть найдено приближенно. Среди основных недостатков метода можно выделить громоздкость расчетов и необходимость использования специализированного программного обеспечения.

Второй метод нахождения матричной экспоненты включает поиск собственных чисел и векторов матрицы, составление жорданова разложения и нахождение экспоненты матрицы через перемножение трех матриц. Этот метод удобен для проверки результатов, но при наличии специализированного программного обеспечения может быть менее эффективным.

Часто для решения выявленной проблемы используется метод, основанный на следствии из теоремы Гамильтона-Кэли. Этот метод заключается в вычислении матричной экспоненты с использованием характеристического многочлена матрицы системы. После нахождения собственных чисел матрицы, появляется возможность определения характеристического многочлена и разделения экспоненциальной функции числового аргумента на этот многочлен с остатком [3]:

$$e^{\lambda t} = \chi(\lambda)f(\lambda) + \alpha_0 + \dots + \alpha_{n-1}\lambda^{n-1}, \quad (2)$$

где  $\chi$  – характеристический многочлен,

$f(\lambda)$  – неполное частное при делении  $e^{\lambda t}$  на  $\chi(\lambda)$ ,

$\alpha_0 + \dots + \alpha_{n-1}\lambda^{n-1}$  – остаток от деления, при условии, что  $\chi$  имел степень  $n$ .

Далее вместо  $\lambda$  вводятся конкретные собственные числа и формируется СЛАУ относительно неопределенных коэффициентов  $\alpha$ , которые находятся известными методами решения СЛАУ. Равенство (2) остается справедливым и для матричной функции:  $e^{At} = Of(A) + \alpha_0 E + \dots + \alpha_{n-1} A^{n-1}$ , путем сложения матриц, домноженных на соответствующие неопределенные коэффициенты, находится значение  $e^{At}$ . Этот метод представляет собой альтернативу проверке по жордановой нормальной форме и позволяет более эффективно оценить переходные процессы в электрической сети. Путем использования различных методов решения систем дифференциальных уравнений, таких как операторный метод, метод с использованием преобразования Лапласа и формулы Коши, можно оптимизировать работу электрических сетей и повысить их надежность.

### Заключение

Таким образом, интегрирование математических методов с технологией больших данных и аналитики играет важную роль в оптимизации работы электрических сетей, что позволяет оценивать переходные процессы с более высокой универсальностью для повышения эффективности энергосистемы в целом. Для анализа переходных процессов в электрической сети с использованием технологии больших данных и аналитики важно выбрать подходящий математический метод, учитывая особенности системы и возможности программного обеспечения. С наличием такого количества методов можно обеспечить многоступенчатую проверку расчетов. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, а выбор оптимального метода зависит от рассматриваемой ситуации.

### Список использованных источников

1. Никольский Н.В. Исследование методов анализа больших данных на предмет применимости для решения экономических задач в электроэнергетике / Н.В. Никольский, Л.П. Королева // Инновационная экономика: информация, анализ, прогнозы, 2023. – № 1. – С. 132–139.
2. Высшая математика для технических университетов. Часть V. Дифференциальные уравнения: учебное пособие / В.Н. Задорожный, В.Ф. Зальмеж, А.Ю. Трифонов, А.В. Шаповалов; Томский политехнический университет. – 3-е изд. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 392 с.
3. Филиповский В.М. Системы управления в пространстве состояний : учебное пособие / В.М. Филиповский. – СПб., 2022. – 75 с.
4. Денисова А.В. Применение операторного метода и метода переменных состояния для расчета переходных процессов: методические указания / А.В. Денисова. – СПб : НИУ ИТМО, 2012. – 105 с.



# АЛГОРИТМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ СЕТИ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Коноплев Н.Е.<sup>1</sup>, Компанеец Б.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АлтГТУ им. И.И. Ползунова, аспирант группы ОТМехЭ-12, e-mail: nikita\_konoplev\_e51@mail.ru

<sup>2</sup> АлтГТУ им. И.И. Ползунова, к.т.н, заведующий кафедрой ЭПБ, e-mail: kompbs@mail.ru

## Введение

Потери электрической энергии при ее передаче и распределении неизбежно возникают во всех элементах электрической сети. Это обусловлено физическими процессами протекания электрического тока по токоведущим частям. Уровень потерь электроэнергии при ее передаче является строго нормированной величиной для каждого класса напряжения и входит в тариф на электроэнергию. Сверхнормативные потери сетевые компании вынуждены оплачивать из своей прибыли. Для снижения потерь электроэнергии разработаны и реализованы многочисленные способы, однако статистика показывает, что уровень потерь электроэнергии в сетях Российской Федерации остается достаточно высоким, что говорит о необходимости создания и внедрения новых способов снижения потерь электроэнергии, одним из которых является оптимизация уровня напряжения [1-3]. Известно, что различные виды технических потерь электроэнергии диаметрально и нелинейно зависят от уровня напряжения и нагрузки в электрической сети, поэтому за счет выбора оптимального напряжения возможно их снижение [4].

Целью данной работы является разработка алгоритма выбора оптимального напряжения на участке электрической сети для определения оптимального уровня напряжения, обеспечивающего минимизацию технических потерь электроэнергии при ее передаче и распределении.

## Описание алгоритма

Для уменьшения потерь электроэнергии путем выбора оптимального уровня напряжения наиболее целесообразно использовать силовые трансформаторы 35-110/6-10 кВ оснащенные устройствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН). Это обусловлено тем, что устройства РПН позволяют локально регулировать напряжение на участке электрической сети в достаточно большом диапазоне и имеют до 19 ступеней регулирования, что позволяет поддерживать требуемое качество электроэнергии у потребителей и дает возможность их использования для снижения потерь электроэнергии. Кроме того, электрические сети напряжением 6-10 кВ являются достаточно протяженными и на их долю приходится значительная часть потерь электроэнергии. В электрических сетях более высокого класса напряжения регулировать напряжение затруднительно, поскольку данные сети объединены в энергосистемы и отсутствует возможность локального регулирования напряжения на отдельных участках.

Технические потери электроэнергии в рассматриваемых электрических сетях 6-10 кВ делятся на нагрузочные, которые возникают из-за нагрева токоведущих частей при протекании по ним электрического тока и потери холостого хода, возникающие в силовых трансформаторах за счет создания в них магнитного поля [5].

Потери электроэнергии в воздушных линиях электропередачи прямо пропорционально зависят от уровня напряжения в сети и передаваемой мощности:

$$\Delta P_{\text{л}} = 3I^2 \cdot R = \left( \frac{S^2}{3U^2} \right) \cdot R, \quad (1)$$

где  $I$  – ток протекающий по линии электропередачи;

$R$  – активное сопротивление линии электропередачи;

$S$  – передаваемая полная мощность по линии электропередачи;

$U$  – фактическое напряжение в линии электропередачи;

$l$  – длина линии электропередачи.

В силовых трансформаторах нагрузочные потери прямо пропорционально зависят от уровня напряжения в сети и передаваемой мощности, а потери холостого хода обратно пропорционально:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{хх}} \cdot \left( \frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^2 + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left( \frac{S}{S_{\text{ном}}} \right)^2 \cdot \left( \frac{U_{\text{ном}}}{U} \right)^2, \quad (2)$$

где  $\Delta P_{\text{хх}}$  и  $\Delta P_{\text{кз}}$  – потери холостого хода и короткого замыкания трансформатора, полученные в результате опытов;

$U$  – уровень напряжения в сети;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение сети;

$S$  – потребляемая мощность;

$S_{\text{ном}}$  – номинальная мощность трансформатора [6].

Из анализа представленных выше выражений следует, что нагрузочные потери и потери холостого хода диаметрально нелинейно зависят от уровня напряжения в сети. С увеличением напряжения нагрузочные потери растут, а потери холостого хода снижаются и наоборот. Для минимизации потерь электроэнергии на участке электрической сети необходимо выбрать некое оптимальное напряжение, при котором суммарные потери будут минимальны.

Для решения данной задачи был разработан специальный алгоритм, который выполняется циклически, через промежутки временные, определенные временем передачи и обработки необходимых исходных данных. Один цикл работы данного алгоритма представлен на рис. 1.

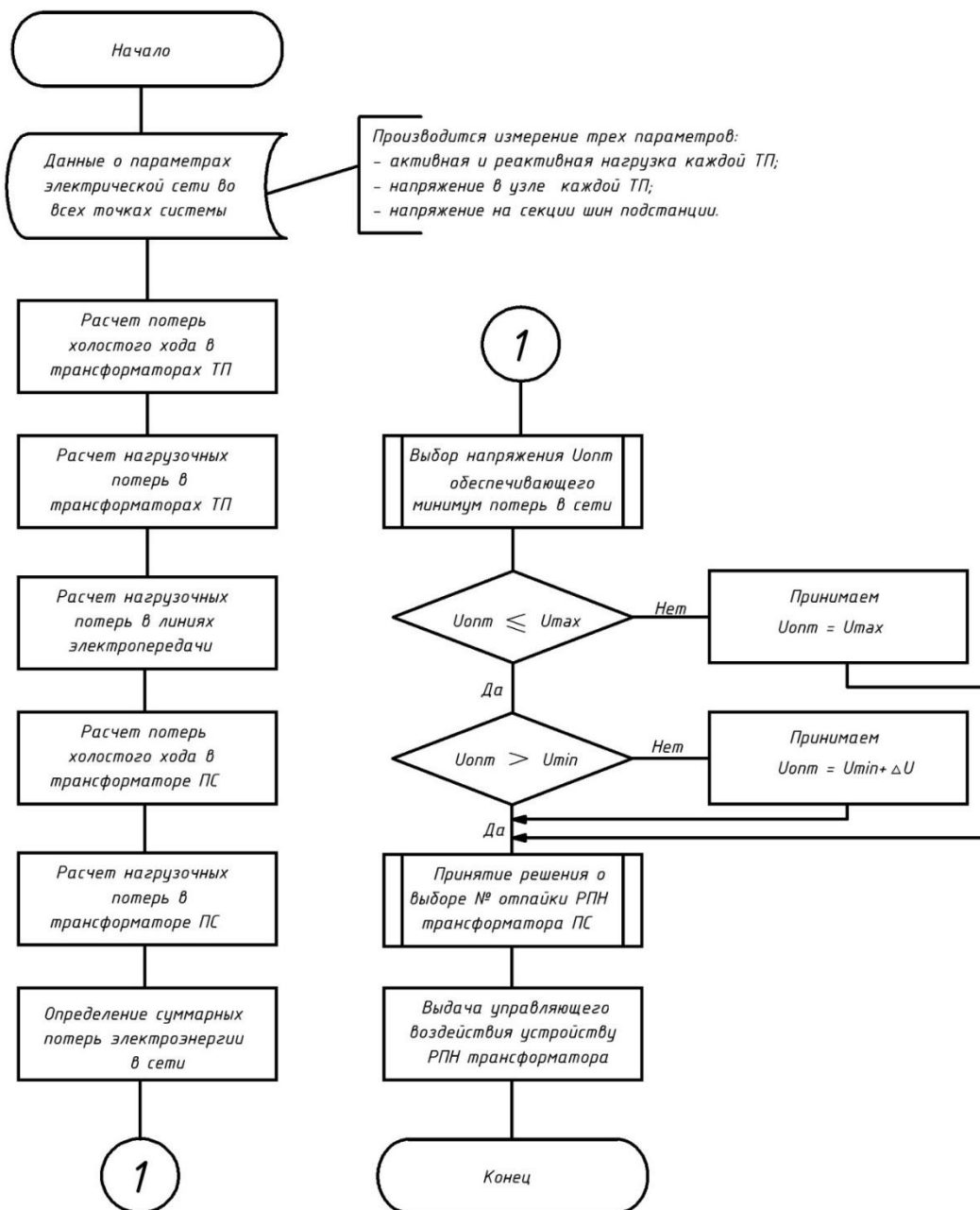


Рис. 1. Алгоритм оптимизации уровня напряжения на участке электрической сети

На первом этапе определяются суммарные нагрузочные потери и суммарные потери холостого хода на всем участке электрической сети, включая питающий трансформатор 35-110/6-10 кВ, на основании данных, полученных по каналам связи от автоматизированной информационно-измерительной системы контроля и учёта электрической энергии (АИИСКУЭ), которой оборудованы и продолжают оборудоваться многочисленные участки распределительных электрических сетей. Система АИИСКУЭ дает возможность получать данные о величине напряжений в узлах сети и нагрузках трансформаторных подстанций 6-10 кВ в режиме реального времени. На втором этапе производится выбор напряжения, обеспечивающий минимум потерь электроэнергии для данного режима. Для решения данной задачи подходят программные комплексы в которых производится расчет электрических сетей, например RastrWin3. Далее полученное значение оптимального напряжения проверяется на соответствие допустимому отклонению напряжения, регламентированному ГОСТ 32144-2013 [7]. В случае выхода оптимального напряжения за верхнюю границу допустимого диапазона, оптимальным принимается максимально возможное напряжение сети, а в случае выхода за нижнюю границу – минимально допустимое напряжение сети плюс величина максимального падения напряжения в сети.

Следующей задачей является выбор оптимальной отпайки РПН, поскольку, выбранное оптимальное напряжение на шинах подстанции поддерживать невозможно из-за дискретности переключателя РПН трансформатора. Кроме того, необходимо следить за тем, чтобы при переключении отпайки РПН напряжение у потребителей не выходило за границы допустимого диапазона. Решение этой задачи в рамках данной работы рассматриваться не будет.

После принятия решения о переключении происходит выдача управляющего сигнала на дискретный вход микропроцессорного устройства управления РПН силового трансформатора, которое, в свою очередь, выдает сигнал устройству РПН и контролирует выполнение переключения. Микропроцессорными устройствами управления РПН в настоящее время оборудовано большое количество подстанций, что позволяет использовать данный алгоритм на многих подстанциях электросетевых компаний.

## **Заключение**

Внедрение и использование данного алгоритма на объектах электросетевых компаний не требует значительных материальных затрат, однако позволяет снизить потери электроэнергии. В перспективе возможно использование данного алгоритма для построения «цифровых сетей» в части организации автоматизированного управления режимом работы электрических сетей, а также разработка аналогичных алгоритмов для выбора оптимального уровня напряжения для электрических сетей более высокого класса напряжения, что приведет к еще большему снижению потерь электроэнергии и повышению энергоэффективности систем электроснабжения.

## **Список использованных источников**

1. Бакай Е.О. Экономико-статистический анализ потерь при передаче электроэнергии по высоковольтным проводам в России // Вестник Южно-Российского государственного технического университета (НПИ). Серия: Социально-экономические науки. – 2017. – № 6. – С. 31-39. – DOI 10.17213/2075-2067-2017-6-31-39.
2. Потери электроэнергии в сетях // Россети Сибирь : [официальный сайт]. – 2024. – URL: <https://www.rosseti-sib.ru/potrebiteleyam/peredacha-elektricheskoy-energii-doc/obem-peredan-noy-elektoenergii-dlya-tsenoobrazovaniya/poteri-elektoenergii-v-setyakh> (дата обращения: 10.09.24).
3. Воротницкий В.Э. Потери электроэнергии в электрических сетях. Анализ и опыт снижения: монография / В. Э. Воротницкий. – Москва: Энергопрогресс, 2013. – 103 с.
4. Гумовская А.А. Принципы регулирования напряжения линий электропередачи в целях снижения потерь / А.А. Гумовская ; науч. рук. В.В. Шестакова // Интеллектуальные энергосистемы : труды IV Международного молодежного форума, 10-14 октября 2016 г., г. Томск : в 3 т. – Томск : Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 1. – С. 344-347.
5. Мельникова В.М. Классификация и структура потерь электрической энергии в энергосистеме и анализ мероприятий по их снижению // Производственный менеджмент: теория, методология, практика. – 2016. – № 7. – С. 123–133.
6. Савина Н.В. Методы расчета и анализа потерь электроэнергии в электрических сетях: учебное пособие / Н.В. Савина. - Благовещенск: Амурский государственный университет, 2014. – 150 с.
7. ГОСТ 32144 – 2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2014-07-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 19 с.

# ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО ДАННЫМ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

*Шеломенцев В.А.<sup>1,2</sup>, Хамитов Р.Н.<sup>3,4</sup>*

<sup>1</sup> Тюменский индустриальный университет, Россия, г. Тюмень, кафедра «Электроэнергетика», аспирант группы ЭКа-21-1

<sup>2</sup> Тюменский государственный университет, Россия, г. Тюмень, ассистент Академического Департамента (УИОТ), e-mail: shelomentsevva72@mail.ru

<sup>3</sup> Тюменский индустриальный университет, Россия, г. Тюмень, доктор технических наук, профессор кафедры «Электроэнергетика»

<sup>4</sup> Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск, доктор технических наук, профессор кафедры «Электрическая техника», e-mail: apple\_27@mail.ru

## Введение

Силовые трансформаторы являются критически важными компонентами энергосистем, обеспечивающими стабильность электроснабжения. Одним из наиболее эффективных методов диагностики их состояния является хроматографический анализ растворённых газов (DGA – Dissolved Gas Analysis) [9], позволяющий точно определить концентрацию водорода, метана, этилена, ацетилена и др. в трансформаторном масле, а они, в свою очередь, служат индикаторами внутренних дефектов и аномальных процессов, таких как частичные разряды, локальные перегревы и термическое старение изоляционных материалов [1].

Применение DGA обеспечивает раннее выявление потенциальных неисправностей, способствуя увеличению срока службы оборудования и снижению эксплуатационных затрат за счёт своевременной диагностики и проведения профилактических мероприятий [9, 15].

Цель данного исследования заключается в разработке и внедрении гибридных моделей машинного обучения для прогнозирования состояния силовых трансформаторов на основе данных DGA. Эти модели позволяют повышать точность диагностики, автоматизировать мониторинг и прогнозировать остаточный ресурс оборудования, что ведет к снижению затрат на техническое обслуживание за счет более эффективной эксплуатации.

## Методика и алгоритм прогнозирования

Для достижения поставленной цели исследования была разработана комплексная методика прогнозирования состояния силовых трансформаторов на основе данных DGA с применением гибридных моделей машинного обучения. Методика включает несколько ключевых этапов: подготовка данных, выбор и настройка моделей, обучение и валидация, а также оценка эффективности прогнозов.

Подготовка данных начала с тщательной первичной аналитики, в ходе которой были выявлены основные взаимосвязи между химическими измерениями растворенных газов, параметрами трансформаторного масла (электрическими, физическими и химическими) и рассчитанными индикаторами (техническое состояние и оставшийся срок службы), связанные с силовыми трансформаторами [5, 9]. Особое внимание уделялось корреляции между концентрациями водорода и этилена, что свидетельствует о их значимости для оценки состояния трансформатора [16]. Для устранения влияния выбросов и дубликатов данных применялись методы очистки и предобработки, включая удаление повторяющихся записей и заполнение пропусков методами интерполяции и медианного значения [3]. Масштабирование данных было выполнено для обеспечения согласованности диапазонов значений параметров, что необходимо для стабильной работы большинства алгоритмов машинного обучения [18].

Выбор моделей основывался на анализе их способности эффективно обрабатывать многомерные данные и предсказывать как индекс состояния силового трансформатора, так и оставшийся срок его службы. В рамках первичного отбора лучшую точность и производительность показала модель **ExtraTreesRegressor**, которая представляет собой мощные алгоритмы градиентного бустинга, способные эффективно справляться с задачами регрессии благодаря своей способности учитывать сложные нелинейные зависимости между признаками [9, 10]. В качестве инструмента для автоматизированного построения моделей искусственных нейронных сетей (ИНС), включая подбор оптимальных архитектур и эволюционную настройку гиперпараметров, применялся фреймворк AutoML – **FEDOT** (Framework for Evolutionary Design of Training transformations).

Обучение моделей проводилось на обучающей выборке, состоящей из 80% всех данных, с последующей валидацией на оставшихся 20%. Для предотвращения переобучения использовалась кросс-валидация, позволяющая оценить обобщающую способность моделей на различных подвыборках данных. В процессе обучения особое внимание уделялось настройке гиперпараметров моделей, что позволило достичь наилучшей производительности и минимизировать ошибки прогнозирования.

Обученные модели были протестированы на тестовой выборке, что позволило оценить их точность и надежность. Метрики оценки включали среднюю абсолютную ошибку MAE – (1), корень из средней квадратичной ошибки – RMSE (2) и коэффициент детерминации –  $R^2$  (3), что обеспечило комплексную оценку качества прогнозов.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|; \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}; \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}. \quad (3)$$

## Результаты

В результате проведенного исследования были разработаны и протестированы различные модели прогнозирования оценки состояния силовых трансформаторов на основе DGA [3, 9].

Модель **ExtraTreesRegressor** продемонстрировала высокую точность, достигнув среднего абсолютного отклонения MAE = 5,21, корня из среднеквадратичной ошибки RMSE = 8,59 и коэффициента детерминации  $R^2 = 0,77$ , что свидетельствует о способности модели эффективно учитывать нелинейные зависимости в данных и предсказывать индекс состояния силового трансформатора с высокой точностью [19].

Разработка конфигурации ИНС с использованием фреймворка **FEDOT** (рис. 1) позволило достичь сопоставимо высоких показателей: MAE = 3,80, RMSE = 7,42 и  $R^2 = 0,79$ . Это свидетельствует о превосходстве ИНС в моделировании сложных взаимосвязей между признаками и целевой переменной, что способствует повышению точности прогнозирования состояния трансформаторов.



Рис. 1. Конфигурация модели ИНС, построенная с использованием фреймворка **FEDOT**

На рис. 1 представлена архитектура модели, созданной с помощью фреймворка **FEDOT** для прогнозирования состояния трансформатора. Модель включает этапы ресемплирования данных для балансировки классов, нормализацию признаков, использование регрессора на основе случайного леса (RFR) для предварительных прогнозов, независимый компонентный анализ (Fast ICA) для разделения сигналов и регрессию Lasso для сокращения числа признаков и повышения интерпретируемости модели.

Основываясь на полученных результатах, была выдвинута гипотеза о том, что объединение моделей **ExtraTreesRegressor** и искусственных нейронных сетей (ИНС) с использованием фреймворка **FEDOT** может привести к дальнейшему повышению точности прогнозирования индекса состояния силовых трансформаторов. Для проверки были применены различные методы объединения прогнозов, включая простое усреднение, взвешенное усреднение, стекнинг и блендинг. Целью объединения было использование сильных сторон каждой модели для улучшения общей производительности гибридной модели. Для наглядного сравнения эффективности отдельных моделей и методов объединения прогнозов приведены результаты в таблице 1.

Сравнение моделей прогнозирования по метрикам

Метод	MAE	RMSE	$R^2$
Отдельные модели			
<b>ExtraTreesRegressor</b>	5,21	8,59	0,77
Искусственные нейронные сети с применением <b>FEDOT</b>	3,80	7,42	0,79
Гибридная модель (объединение прогнозов)			
Усреднение (Averaging)	5,29	7,97	0,81
Взвешенное усреднение (Weighted Averaging)	5,09	7,80	0,82
Стекинг (Stacking)	4,87	8,30	0,80
Блендинг (Blending)	6,65	9,79	0,72
<b>XGBoostRegressor</b>	5,07	8,38	0,80

Анализ представленных результатов подтвердил гипотезу о том, что объединение прогнозов и создание гибридной модели **ExtraTreesRegressor** и ИНС с использованием метода взвешенного усреднения позволяет эффективно компенсировать слабости отдельных моделей и использовать их сильные стороны для достижения более точных и надежных прогнозов.

### Перспективы дальнейших исследований

Будущие исследования могут быть направлены на расширение базы данных для повышения обобщаемости моделей, интеграцию дополнительных признаков, а также разработку интерпретируемых моделей, позволяющих лучше понимать влияние отдельных признаков на прогнозируемые показатели. Кроме того, планируется автоматизация внедрения разработанных моделей в существующие системы мониторинга трансформаторов и устранение выявленных проблем с интеграцией моделей внутри фреймворка **FEDOT** для повышения общей точности прогнозов.

### Список использованных источников

1. Faiz J., Soleimani M. Dissolved gas analysis evaluation in electric power transformers using conventional methods a review // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2017. – Vol. 24, no. 2. – P. 1239–1248.
2. Анализ повреждаемости трансформаторов мощностью 16 и 25 MVA класса напряжения 110 kV [Analysis of damageability of transformers with a power of 16 and 25 MVA, voltage class 110 kV] [Electronic Resource]. URL: <https://pue8.ru/elektricheskie-seti/623-analiz-povrezhdaemosti-transformatorov-moshchnostyu-16-i-25-mva-klassa-napryazheniya-110-kv.html> (дата обращения: 19.03.2024).
3. Khair M., Ghani S., Bakar N., Chairul I., Talib M. Sulfur Corrosion Mechanism in Power Transformers and Its Detection Techniques: A Review // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2022. – Vol. 29, no. 6. – P. 2283–2293.
4. Gairola A., Rawat S. Modern Diagnostic Tests for Condition Monitoring of Power Transformers of Koteshwar НЕР // International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2016. – Vol. 7, no. 12. – P. 390–396.
5. Ashkezari A., Ma H., Saha T., Ekanayake C. Application of fuzzy support vector machine for determining the health index of the insulation system of in-service power transformers // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2013. – Vol. 20, no. 3. – P. 965–973.
6. Gutten M., Kucera M., Korenciak D., Karman M. Diagnostics of construction parts of the dry transformers // International Conference on Diagnostics in Electrical Engineering. – 2022. – P. 1–4.
7. Ahmed A. Smart Transformer Health Monitoring System // IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. – 2023. – P. 837–840.
8. Secic A., Krpan M., Kuzle I. Vibro-Acoustic Methods in the Condition Assessment of Power Transformers: A Survey // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 83915–83931.
9. Rokani V., Kaminaris S., Karaisas P., Kaminaris D. Power Transformer Fault Diagnosis Using Neural Network Optimization Techniques // Mathematics. – 2023. – Vol. 11, no. 22. – P. 4693.

# ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ ВИЭ В СОСТАВЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА 0,4-10 КВ

*Бурыкин Д.С.<sup>1</sup>, Шестопалова Т.А.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», кафедра гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии, аспирант, e-mail: dim.burykin@yandex.ru*

*<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», Институт гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии, директор института, e-mail: ShestopalovaTA@mpei.ru*

## Введение

Активное развитие распределенных энергетических систем, как в России, так и во всем мире привело к фундаментальным изменениям структуры энергетических комплексов. Основой этой трансформации стало масштабное использование возобновляемых источников энергии. Вследствие особенностей их работы, традиционные схемы генерации, распределения и потребления электрической энергии, с интегрированными в них источниками генерации на основе ВИЭ, зачастую сталкиваются с проблемами обеспечения надежности электроснабжения. В настоящей работе будут рассмотрены вопросы функционирования объектов распределённой генерации на основе ВИЭ в составе распределительного электросетевого комплекса 0,4-10 кВ.

## Микрогенерация в России и мире

Термин «микрогенерация» в соответствии с Ф3-35 «Об электроэнергетике» [1] описывает объекты по производству электрической энергии на основе ВИЭ, подключенные к распределительной электрической сети по уровню напряжения 0,4 кВ и имеющие возможность выдавать излишки произведенной электроэнергии в сеть с целью её продажи сбытовым компаниям. Эти возможности были предоставлены после принятия Постановления Правительства РФ от 2 марта 2021 года №299, в котором определен порядок технологического присоединения, организация коммерческого учета электроэнергии и прочие технических условий для обеспечения безопасной и надежной эксплуатации объектов микрогенерации в составе распределительного электросетевого комплекса.

Следует отметить, что в настоящем докладе будут рассмотрены объекты микрогенерации до 15 кВт, характеристики которой определены в Ф3-35 «Об электроэнергетике», и соответствующие им аналоги в зарубежной нормативной документации.

В настоящий момент по оценкам экспертов объем введенных мощностей микрогенерации в РФ составляет 4,7 МВт [2]. Потенциал сектора микрогенерации на основе ВИЭ в РФ огромен и способен достигнуть 4,4 ГВт [3].

Довольно скромные объемы введенных мощностей можно объяснить следующими причинами:

- высокая стоимость технологического присоединения объектов микрогенерации;
- ограничение выдаваемой мощности в объеме не более 15 кВт;
- недостаточная подготовленность сетевых компаний к технологическому присоединению объектов микрогенерации;
- отсутствие типовых схем подключения объектов микрогенерации;
- длительный и бюрократически сложный для потребителя процесс технологического присоединения.

Если первые две проблемы могут быть решены путем внесения изменения в нормативные акты, то в части работы электросетевых компаний должна быть проведена комплексная работа, примером которой может послужить опыт стран-лидеров по вводу частных электростанций, таких как Германия и США.

Пионером в развитии сектора частных электростанций является Германия. Первый закон, позволяющий произвести технологическое присоединение объектов микрогенерации и продажу излишек в сеть, был принят в 1991. Активное развитие данного сектора началось с 2008 года после резкого снижения стоимости фотоэлектрических модулей и инверторов.

Объем частных электростанций в Германии, подключенных к распределительным электрическим сетям на 2023 год мощностью до 100 кВт, составляет 40,1 ГВт [4].

В США также был принят ряд законов, стимулирующих развитие данного сектора и позволивший достигнуть суммарный объем введенных мощностей частных электростанций на основе ВИЭ на уровне 36 ГВт [5].

Следует отметить, что электросетевые компании Германии и США на ранних этапах развития данного сектора также испытывали трудности с интеграцией объектов микрогенерации ВИЭ. К ним можно отнести:

- обеспечение безопасности эксплуатирующего персонала при проведении плановых и аварийных работ на элементах электросетевого комплекса с подключенными объектами микрогенерации;
- обеспечение надежной работы энергетического комплекса с подключенными объектами микрогенерации при аварийных отключениях;
- обеспечение централизованного мониторинга работы объектов микрогенерации;
- обеспечение требуемых параметров качества электрической энергии.

Для решения указанных проблем в Германии принят закон VDE-AR-N 4105, определяющий технические требования к подключению и эксплуатации объектов микрогенерации в сети до 1 кВ [6]. Стандарт был разработан Ассоциацией электротехники, электроники и информационных технологий Германии (VDE) и вступил в силу в 2011 году, с последующими обновлениями для учета развития технологий и изменения нормативной базы.

Основные положения VDE-AR-N 4105 формулируют требования к инверторному оборудованию в части:

- регулирования реактивной мощности;
- регулирования активной мощности;
- настроек защиты от работы в островном режиме;
- настроек защиты от перенапряжений и коротких замыканий;
- режимов работы инвертора при кратковременных отклонениях напряжения и частоты;
- принципов работы устройств отключения;
- поддерживаемых интерфейсов связи и протоколов передачи данных;
- параметров качества электрической энергии;
- порядка сертификации;
- процесса технологического присоединения.

В США аналогами немецкого стандарта VDE-AR-N 4105 являются Национальный электротехнический кодекс (NEC) и California Rule 21.

Приведенные стандарты определили основные технические требования к инверторному оборудованию объектов микрогенерации и подготовили основу для их дальнейшей интеграции в системы управления распределенной генерацией с возобновляемыми источниками энергии (DERMs).

Пилотные проекты DERMs уже прошли опытную эксплуатацию и в настоящий момент активно внедряются сетевыми операторами.

Главными задачами с точки зрения сетевых компаний – операторов DERMs являются:

- мониторинг работы объектов микрогенерации и накопителей в режиме реального времени;
- дистанционное централизованное управление объектами микрогенерации;
- управление режимом сети в части поддержания уровней напряжения в контрольных точках;
- интеграция систем накопления электроэнергии и микрогенерации
- создание виртуальных электрических станций для взаиморасчетов между собственниками объектами микрогенерации;
- управление спросом для снижения пиковых нагрузок;
- обеспечение кибербезопасности и защиты данных.

Возвращаясь к текущему положению микрогенерации в России, важно отметить отсутствие каких-либо технических требований к инверторному оборудованию, подключаемому к распределительному комплексу и обеспечивающему выдачу электроэнергии в сеть.

На основе проведенного анализа нормативной базы и опыта зарубежных энергосистем для решения текущих задач обеспечения надежной работы электросетевого комплекса и стимулирования развития сектора микрогенерации предлагается реализация следующих мероприятий:

- формулирование технических требований сетевых компаний к инверторному оборудованию в части внутренних защит и схем подключения;
- обеспечение диспетчерской связи между центром управления сетями и объектами микрогенерации;
- разработка централизованной системы мониторинга и управления объектов микрогенерации;



– использование инструментов искусственного интеллекта с целью прогнозирования объемов производства и потребления электрической энергии объектов микрогенерации.

В результате реализации данного комплекса мероприятий ожидается получение следующих результатов:

– обеспечение безопасности персонала при проведении работ посредством дистанционного контроля режима работы объектов микрогенерации;

– повышение наблюдаемости распределительной сети 0,4 – 10 кВ;

– контроль за параметрами качества электрической энергии, выдаваемой в сеть объектами микрогенерации;

– централизованное технологическое управление объектами микрогенерации с целью управления объемом выдаваемой в сеть активной и реактивной мощности для поддержания параметров сети.

## **Заключение**

Развитие микрогенерации на основе возобновляемых источников энергии в России может стать ключевым инструментом для решения проблем энергодефицита в таких регионах, как Краснодарский край и Ростовская область и многих других. Благодаря системному подходу к стимулированию данного сектора энергетики и активной работе сетевых компаний по интеграции микрогенерации в распределительные сети, возможно создание надежной и современной энергосистемы, соответствующей современным требованиям к цифровым технологиям в электроэнергетике.

## **Список использованных источников**

1. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 N 35-ФЗ – Статья 3.
2. Энергетика и промышленность России // Электроэнергетика. Электрические сети: сайт. – 2024. – URL: [https://www.eprussia.ru/news/base/2024/606681.htm?sphrase\\_id=10394650](https://www.eprussia.ru/news/base/2024/606681.htm?sphrase_id=10394650).
3. Коммерсант // Солнце наших крыш: сайт. – 2021. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4753266>.
4. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. – Photovoltaics Report. – 2023. – 19 с.
5. Solar Energy Industries Association® (SEIA) : сайт. – 2024. – URL: <https://seia.org/5m/>.
6. Generators connected to the low-voltage distribution network – Technical requirements for the connection to and parallel operation with low-voltage distribution networks. – VDE-AR-N 4105:2018-11

# РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПАЛЬЕОЗЕРСКОЙ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

*Вишневский А.Р.<sup>1</sup>, Кулдин Н.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Петрозаводский государственный университет, e-mail: arseniyvi02@yandex.ru*

<sup>2</sup> *Петрозаводский государственный университет, e-mail: kuldin@petrsu.ru*

## **Аннотация**

Целью работы являлось создание предсказательной модели прогнозирования генерации электроэнергии Пальеозерской гидроэлектростанцией, входящей в Каскад Сунских ГЭС. В работе проведен сравнительный анализ наиболее популярных регрессионных методов применяемых в машинном обучении на основе ретроспективных данных за период 2016-2023гг. Наилучшую точность продемонстрировал метод адаптивный бустинг.

## **Введение**

В последние десятилетия использование возобновляемых источников энергии стало ключевым решением в стремлении к устойчивому производству энергии. Поскольку применение возобновляемых технологий продолжают развиваться, надежность и эффективность производства становятся всё более значимыми. Одной из важных и развивающихся отраслей возобновляемой энергетики является гидроэнергетика.

Гидроэнергетика на сегодняшний день является наиболее важной отраслью для производства электрической энергии во всем мире, что также упоминается в Федеральном законе №35 «Об электроэнергетике» [1]. В силу своих преимуществ гидравлическая энергия остается и по сей день экологически чистым, возобновляемым источником энергии и основой обеспечения энергетической безопасности страны на долгосрочную перспективу. В 2021 году по данным Rystad Energy гидроэлектростанции заняли третье место по доле в глобальной генерации, уступив газовым и угольным станциям [2]. По данным АО «СО ЕЭС» установленная мощность гидроэлектростанций, расположенных на территории Республики Карелия, по состоянию на 01.01.2024 года составила 636,9 МВт, что равносильно 58,17 % от всей установленной мощности электростанций энергосистемы Республики Карелия [3].

## **Основная часть**

Обеспечение надежного и бесперебойного функционирования энергосистемы Республики Карелия является крайне важной задачей. Надежное функционирование энергосистем с существенной долей гидроэлектростанций в энергетическом балансе во многом зависит от точности прогнозирования потребления и генерации электроэнергии. В совокупности прогнозирование электропотребления и оптимальное планирование генерации определяют энергетическую безопасность, обеспечивают защиту от наводнений, исключают холостые сбросы на гидроэлектростанциях и определяют технические решения при перспективном развитии энергосистем.

Одним из самых действенных способов решения задач прогнозирования являются методы машинного обучения, которые способны выявлять сложные зависимости и точно предсказывать необходимые параметры. Процесс обучения в контексте моделей машинного обучения включает итеративный подбор параметров для аппроксимации зависимостей, которые описывают изменяющиеся во времени процессы. Такой подход позволяет адаптивным моделям выявлять сложные нелинейные связи на длительных временных интервалах, за счет чего они, как правило, показывают более высокий результат, по сравнению с моделями, основанными на статических методах, при прогнозировании временных рядов на достаточно сильно удаленных от текущего момента промежутки времени [4].

В статье рассматриваются применение нескольких различных методологий машинного обучения-случайный лес, адаптивный и градиентный бустинг.

Алгоритм машинного обучения «Случайный лес», основан на комбинировании выходных данных нескольких ансамблей деревьев решений. Это гибкий и простой в использовании алгоритм, который можно применять как для задач классификации, так и для задач регрессионного анализа. Для построения прогнозной модели, необходимо провести анализ и обработку данных, нормализацию данных, выявить какие факторы оказывают влияние на выработку электроэнергии.

Для определения скрытых взаимосвязей между переменными и значимости каждого признака, построили корреляционную матрицу, представленную на рис. 1.

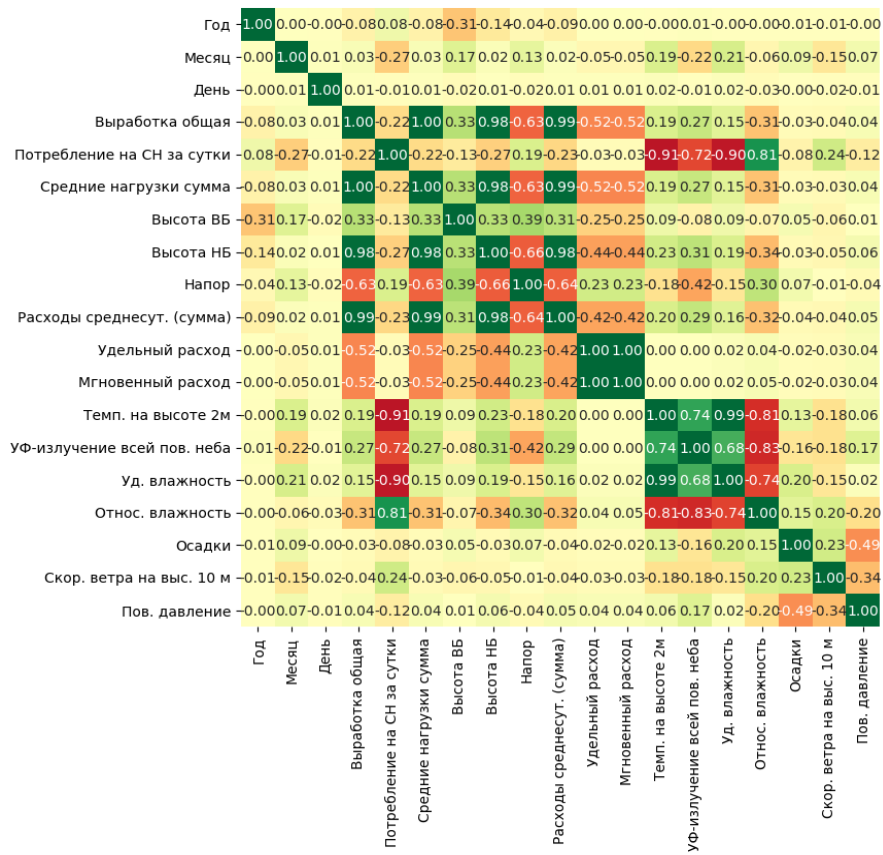


Рис. 1. Корреляционная матрица

Матрица принимает значение корреляции от (-1), если значения одного признака присутствуют, а другого-отсутствуют (не зависят друг от друга) до (1), если присутствуют значения одного и другого признака (зависят друг от друга).

На рис. 1 видно, какие признаки, помимо самой генерации, оказывают сильное влияние на выработку электроэнергии Пальезерской гидроэлектростанцией: средние нагрузки, МВт; высота нижнего бьефа, м; среднесуточные расходы воды, м<sup>3</sup>/с.

Построив корреляционную матрицу и определив, факторы, оказывающие влияние на прогнозируемую величину, построили модель прогнозирования, используя метод случайного леса. Результат построения модели прогнозирования с помощью метода случайного леса представлен на рис. 2.

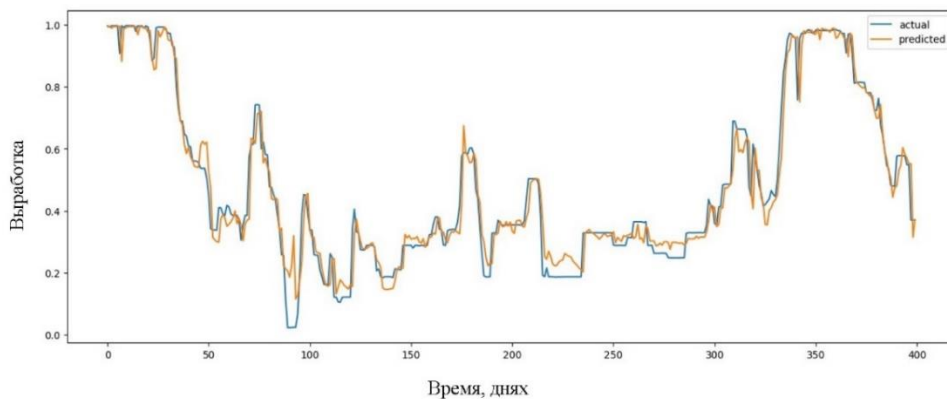


Рис. 2. Модель прогнозирования генерации электроэнергии Пальезерской гидроэлектростанцией, используя метод случайный лес (Random Forest)

Коэффициент детерминации  $r^2$ : 0,906.

Средняя абсолютная ошибка MAE: 0,054.

Для сравнения с результатами моделей, построенных другими методами, построили модели прогнозирования, используя такие методы машинного обучения, как адаптивный и градиентный бустинг.

Адаптивный бустинг представляет собой алгоритм машинного обучения, который использует всю обучающую выборку без разбиений. На каждом шаге, объектам присваивается относительный вес: при некорректно предсказанных значениях вес увеличивается, а при верно предсказанных назначается меньший вес и модель обучается, цикл повторяется. Результат построения модели прогнозирования с использованием метода адаптивного бустинга представлен на рис. 3.

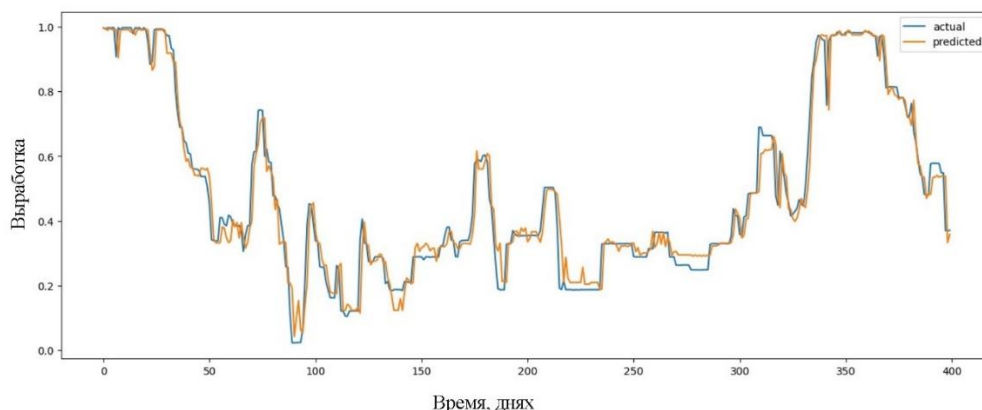


Рис. 3. Модель прогнозирования генерации электроэнергии Пальезерской гидроэлектростанцией, используя метод адаптивный бустинг (AdaBoost)

Коэффициент детерминации  $r^2$ : 0,931.

Средняя абсолютная ошибка MAE: 0,048.

Градиентный бустинг представляет собой метод машинного обучения, который при последующих итерациях старается уменьшить ошибку предыдущего не до конца обученного алгоритма [5]. Результат построения модели прогнозирования с использованием метода градиентного бустинга представлен на рис. 4.

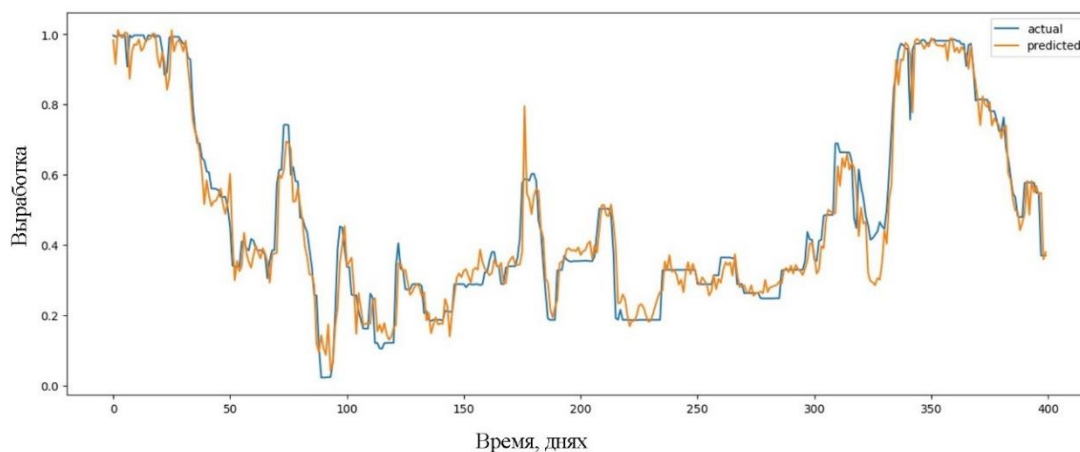


Рис. 4. Модель прогнозирования генерации электроэнергии Пальезерской гидроэлектростанцией, используя метод градиентный бустинг (XGBoost)

Коэффициент детерминации  $r^2$ : 0,887.

Средняя абсолютная ошибка MAE: 0,058.

### Заключение

Построив модели прогнозирования, используя различные методы машинного обучения, можно сделать вывод, что для решения задачи прогнозирования генерации лучший результат, среди предложенных методов, показал метод адаптивного бустинга, поскольку коэффициент детерминации близок к 1, а средняя абсолютная ошибка наименьшая.

Использование методов машинного обучения для прогнозирования способствует значительному увеличению точности предсказаний и повышению уровня информативности управленческих решений.

Исследования, описанные в данной работе, были проведены в рамках реализации Программы поддержки НИОКР студентов, аспирантов и лиц, имеющих ученую степень, финансируемой Правительством Республики Карелия.

#### **Список использованных источников**

1. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 г. – № 35-ФЗ. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/19336>
2. Ассоциация «Глобальная энергия»/Гидроэлектростанции в 2021 году стали самым популярным видом ВИЭ. – URL: <https://globalenergyprize.org/ru/2022/02/09/gidroelektrostantsii-v-2021-godu-stali-samym-populyarnym-vidom-vie/>
3. Обосновывающие материалы к СиПР/ Республика Карелия. – URL: [https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/future\\_plan/public\\_discussion/support\\_materials/2024/48\\_Respublika\\_Karelija.pdf](https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/future_plan/public_discussion/support_materials/2024/48_Respublika_Karelija.pdf)
4. Сергеев Н.Н., Матренин П.В. Обзор международного опыта в прогнозировании генерации возобновляемых источников энергии с помощью методов машинного обучения // iPolytech Journal. – 2023. – Т. 27 (2). – С. 354–369. – DOI: <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2023-2-354-369>
5. Фонарев, А. Ю. Обзор алгоритмов бустинга – Текст: электронный. – URL: [http://www.machinelearning.ru/wiki/images/9/9a/fonarev.overview\\_of\\_boosting\\_methods.pdf](http://www.machinelearning.ru/wiki/images/9/9a/fonarev.overview_of_boosting_methods.pdf)

# ВНЕДРЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В КЛАСТЕРНУЮ ЦИФРОВУЮ ПОДСТАНЦИЮ

*Левичев Д.Г.<sup>1</sup>, Пряхина Е. Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Тюменский индустриальный университет, группа НТМ(до)з-23-1, e-mail: S.Owun@yandex.ru

<sup>2</sup> Тюменский индустриальный университет, к.п.н., доцент, e-mail: prjahinaen@tyuiu.ru

## Введение

Цифровая подстанция – это подстанция с высоким уровнем автоматизации, в которой практически все процессы информационного обмена между элементами подстанции, а также управление работой подстанции осуществляются в цифровом виде на основе стандартов серии МЭК 61850 [1]. Такая подстанция включает в себя сбор и обработку данных, передачу информации, а также управление оборудованием и устройствами подстанции. Цифровые подстанции позволяют повысить эффективность работы оборудования, снизить затраты на его обслуживание, улучшить безопасность и надежность энергосистемы в целом.

Концепция цифровой подстанции подразумевает использование большого количества интеллектуальных устройств, связанных информационной сетью для автоматической локализации поврежденных участков линии из-за короткого замыкания, а также формирования аварийных сигналов о протекании тока короткого замыкания по участкам воздушных линий электропередач. В отсутствие короткого замыкания, цифровая подстанция выполняет функции управления сетью, обеспечивая оперативные включения или отключения нагрузки, создания ремонтных схем, включения резервных участков сети, создание конфигурации сети по условиям оптимального режима, отключения недогруженного или перегруженного оборудования. В составе цифровой подстанции находится интеллектуальный модуль, который выполняет и отвечает за принятие решений. Работа интеллектуального модуля основана на вшитой в его микропроцессор программе.

## Проблема

Недочет вшитой в микропроцессор программы в том, что, когда программа сталкивается с ситуациями, выходящими за рамки её кода, проблему приходится решать вручную. В современных цифровых подстанциях предусмотрена возможность удаленного доступа и оперативно-диспетчерского управления. Это позволяет специалистам осуществлять мониторинг и управление оборудованием подстанции из удаленного центра. Также в некоторых случаях возможна смена прошивки программного обеспечения без необходимости физического доступа к оборудованию. Однако, конкретные возможности и функциональность удаленного доступа могут варьироваться в зависимости от конкретной реализации и производителя оборудования. Но даже при удалённом управлении корректировка параметров цифровых подстанций является трудоёмкой задачей.

## Актуальность

В современном мире развитие технологий и увеличение объема данных требуют новых подходов к их анализу и обработке. Одним из перспективных направлений в этой области является применение нейронных сетей для решения различных задач, в том числе в области электроэнергетики. В частности, актуальной является задача внедрения нейронных сетей в кластерные цифровые подстанции для оптимизации их работы и улучшения управления энергосистемами.

Например, на сегодняшний день искусственный интеллект активно используется в электроэнергетике таких стран как: Китай и Япония.

В Китае в провинции Юньнань внедряется искусственный интеллект для проверок на 621 электроподстанции, заменив тем самым необходимость вмешательства человека. По информации юньнаньского филиала китайской электросетевой компании China Southern Power Grid, инспекция с использованием искусственного интеллекта, проводимая при помощи камер, дронов и шагающих роботов, позволяет выполнить задачи менее чем за пять минут против пяти часов, которые требуются сотрудникам [2].

Япония также активно использует ИИ в своей электроэнергетической инфраструктуре. В августе 2020 года в японской префектуре Кагава состоялась презентация венчурной компании MitoyoAI Development Co. Идея стартапа MitoyoAI Development заключается в разработке системы контроля ЛЭП с использованием искусственного интеллекта для анализа внешнего вида линий электропередач. Искусственный интеллект «отсматривает» видео, снятые роботами. Это позволяет быстро обнаруживать любые повреждения, пропущенные человеческим глазом [3].

Таким образом, данная научная исследовательская работа представляет собой важный шаг в развитии технологий обработки данных и управления энергосистемами в Российской Федерации, что позволит повысить их эффективность, надежность и устойчивость к различным внешним воздействиям.

### **Цель и задачи**

Целью данной научной исследовательской работы является анализ существующих работ для дальнейшей разработки нейронной сети, внедряемой в интеллектуальный модуль кластерной цифровой подстанции.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- Изучение теоретических основ нейронных сетей и кластерных цифровых подстанций, а также анализ существующих методов и подходов к внедрению нейронных сетей в электроэнергетику.
- Выбор оптимальной архитектуры нейронной сети и методов ее обучения на основе анализа данных кластерной цифровой подстанции.

### **Анализ существующих методов и подходов**

Для анализа существующих методов и подходов было рассмотрено направление использования искусственного интеллекта при управлении конфигурацией и режимами работы небольших локальных микросетей. Термин «Микросеть» (Microgrid) относится к маломасштабной системе производства и распределения электроэнергии, в которой кластер нагрузок снабжается локально несколькими источниками энергии и системами накопления и хранения энергии [4]. Микросети это энергетические сети островов, отдалённых и изолированных районов, где доступ к централизованной общей сети ограничен или отсутствует полностью [5]. В качестве примеров рассмотрены Сингапур и Великобритания.

Внедрение искусственного интеллекта в Сингапуре начали ещё в 2014 году в рамках реализации национальной инициативы Smart Nation Singapore [6] и в настоящее время выпущена Smart Nation Singapore v2.0 [7]. С точки зрения энергетики интересен проект REIDS Наньянского технологического университета, который представляет собой восемь микросетей на острове Семакау, оснащённых ветряными, солнечными и дизельными генерирующими объектами, накопителями и системой хранения энергии на основе водорода [5]. Согласно официальному ресурсу проекта [8], подробная информация доступна только спонсорам и партнёрам. Подробности структуры нейронной сети не хранятся в открытом доступе, но принцип подобных сетей известен и будет рассмотрен далее.

Пример британского проекта с использованием AI в микросети реализуется на островах Сили. Интеллектуальное решение в виде платформы GridShare для этого проекта поставляет компания Moixa [9]. GridShare позволяет оптимизировать использование домашних аккумуляторных систем и предоставлять услуги по управлению энергией для поддержки возобновляемых источников и электромобилей. GridShare использует искусственный интеллект для создания индивидуальных планов зарядки, учитывающих особенности использования энергии каждым клиентом, и обеспечивает максимальную экономию и эффективность работы аккумуляторов [10].

В качестве схожих примеров можно привести США и Израиль. В США Xcel Energy внедряет искусственный интеллект для оптимизации выработки электроэнергии, управления энергопотреблением и предотвращения аварийных ситуаций. Компания также использует искусственный интеллект для анализа данных о погоде, прогнозирования спроса на электроэнергию и определения оптимальных режимов работы своих электростанций [11]. В Израиле компания Meteo-Logic занимается анализом данных, прогнозированием погоды и электроэнергии с использованием машинного обучения и больших данных. Meteo-Logic стремится повысить точность прогнозов и предоставить предприятиям более эффективные решения для оценки влияния погоды на поставки электроэнергии [12].

В приведённых выше примерах наблюдается сходство в роли искусственного интеллекта в работе энергетических систем. Общий принцип внедрения искусственного интеллекта приведен в источнике [13]. Все подобные системы объединяет то, что искусственный интеллект отвечает за:

- обработку с помощью нейросетей исторических данных, погодных карт, спутниковой информации, данных метеостанций и видеосъемок неба;
- формирование прогноза уровня загрузки и объемов выработки электроэнергии;
- планирование работы резервных источников и формирование режимов работы электросетей.

Принцип работы таких систем заключается в непрерывном мониторинге: фактической выработки источников электроэнергии, погодных условий (для возобновляемых источников энергии) и по-

требления пользователями электроэнергии. Исходя из этих данных, искусственный интеллект принимает решение о подключении или отключении дополнительных источников электроэнергии (дизельные генераторы, аккумуляторные батареи или прочие источники резервного энергообеспечения).

Использование прогностических нейронных сетей позволяет создавать достаточно точные прогнозы выработки электроэнергии в диапазоне некоторого времени.

В Российской Федерации цифровые подстанции отвечают за контроль и управление высоковольтными линиями электропередач. Применение принципов микросетей в полном объеме для наших сетей не представляется возможным. Но общим функционалом интеллектуальных модулей цифровых подстанций и микросетей является формирование прогноза уровня загрузки и объемов выработки электроэнергии, а также планирование работы резервных источников и формирование режимов работы электросетей. Резервными источниками, в нашем случае, выступают резервные участки сети.

### **Выбор оптимальной архитектуры нейронной сети**

Выбор оптимальной архитектуры для нейронной сети, внедряемой в кластерную цифровую подстанцию, является важной задачей, так как от этого выбора зависит точность и эффективность контроля сети электроэнергии.

В статье «A scoring review of deep neural networks for electric load forecasting» [14] представлены современные методики и эксперименты прогнозирования нагрузки с помощью глубоких нейронных сетей в области энергетики. Nicolai Bo Vanting пишет о том, что из-за способности автоматически изучать повторяющиеся шаблоны и особенности в данных, для решения задачи анализа данных электрических сетей подходят свёрточные нейронные сети.

По результатам обзорного анализа [14] автором статьи, рекомендуется использовать гибридную многомерную модель глубокого обучения, состоящую из свёрточной нейронной сети (CNN) и рекуррентной нейронной сети (LSTM). Гибрид CNN-LSTM может улавливать повторяющиеся паттерны в части (Свёрточная нейронная сеть) CNN и изучать последовательные признаки в части (Долговременная кратковременная память) LSTM сети, создавая надежную модель, которая дополняет сама себя.

При выборе модели необходимо учитывать такие критерии оценки, как:

– RMSE (Root Mean Square Error) – это квадратный корень из средней квадратичной ошибки. Она используется для оценки качества регрессионных моделей и показывает, насколько хорошо модель предсказывает значения целевой переменной [15].

– RMSPE (Root Mean Square Percentage Error) – это квадратный корень из средней квадратичной процентной ошибки. Она используется для оценки качества регрессионных моделей и показывает, насколько хорошо модель предсказывает значения целевой переменной в процентах от истинного значения [15].

– MAPE (Mean Absolute Percentage Error) – это средняя абсолютная процентная ошибка. Она используется для оценки качества регрессионных моделей и показывает, насколько хорошо модель предсказывает значения целевой переменной в процентах от истинного значения [15].

– MAE (Mean Absolute Error) – это средняя абсолютная ошибка. Она используется для оценки качества регрессионных моделей и показывает, насколько хорошо модель предсказывает значения целевой переменной в абсолютных значениях [15].

### **Заключение**

В заключении можно отметить, что гибридная архитектура (CNN-LSTM), состоящая из свёрточной и рекуррентной нейронных сетей, является наиболее подходящим вариантом для решения задач диагностики и контроля на таких объектах как цифровые подстанции. Они способны обеспечить высокую точность и скорость обработки постоянно поступающих однотипных данных, а также позволяют прогнозировать поведение энергосети с высоким уровнем достоверности.

### **Список использованных источников**

1. СТО 56947007-29.240.10.248-2017. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС). ПАО «ФСК ЕЭС». – Москва : 2017. – 135 с.
2. Китайская CSPG внедряет искусственный интеллект для проведения инспекций энергообъектов в провинции Юньнань // Энергетика. Электротехника. Связь. Первое отраслевое электронное СМИ: сайт. – 2024. – URL: [https://www.ruscable.ru/news/2024/04/02/Kitajskaya\\_CSPG\\_vnedryaet\\_iskusstvennyj\\_intellekt/](https://www.ruscable.ru/news/2024/04/02/Kitajskaya_CSPG_vnedryaet_iskusstvennyj_intellekt/) (дата обращения – 16.08.2024).



3. Искусственный интеллект проверит ЛЭП // Деловой журнал. СМИ : сайт. – 2020. – URL: <https://www.if24.ru/iskusstvennyj-intellekt-proverit-lep/> (дата обращения – 17.08.2024).
4. Микросети - что это такое и как они работают // ElectricalSchool.info. Образовательный проект : сайт. – 2013. – URL: <https://electricalschool.info/main/elsnabg/2717-mikroseti-chto-eto-takoe.html> (дата обращения – 17.08.2024).
5. Дзюбенко В. В. Как AI меняет производство, передачу и потребление электроэнергии // Деловой журнал. СМИ : сайт. – 2019. – URL: <https://www.if24.ru/kak-ai-menyaet-proizvodstvo-peredachu-i-potreblenie-elektroenergii/> (дата обращения – 18.08.2024).
6. National AI Strategy // Веб-сайт государственного учреждения Сингапура : сайт. – 2023. – URL: <https://www.smartnation.gov.sg/nais/> (дата обращения – 19.08.2024).
7. 2023 Сингапурская национальная стратегия в области искусственного интеллекта 2.0 // сайт НИУ ВШЭ : сайт. – 2023. – URL: [https://ai.gov.ru/knowledgebase/dokumenty-po-razvitiyu-ii-v-drugikh-stranakh/2023\\_singapurskaya\\_nacionalnaya\\_strategiya\\_v\\_oblasti\\_iskusstvennogo\\_intellekta\\_2\\_0\\_singapore\\_national\\_ai\\_strategy\\_2\\_0\\_nais\\_2\\_0\\_smart\\_nation\\_singapore/](https://ai.gov.ru/knowledgebase/dokumenty-po-razvitiyu-ii-v-drugikh-stranakh/2023_singapurskaya_nacionalnaya_strategiya_v_oblasti_iskusstvennogo_intellekta_2_0_singapore_national_ai_strategy_2_0_nais_2_0_smart_nation_singapore/) (дата обращения – 19.08.2024).
8. Renewable Energy Integration Demonstrator – Singapore // сайт Nanyang Technological University : сайт. – 2024. – URL: <https://www.ntu.edu.sg/erian/research-focus/flagship-programmes/renewable-energy-integration-demonstrator-singapore> (дата обращения – 20.08.2024).
9. Gridshare // сайт проекта Lunar Energy : сайт. – 2024. – URL: <https://www.lunarenergy.com/gridshare#partner-form> (дата обращения – 20.08.2024).
10. Moixa Rolls Out GridShare Distributed Storage Management Service // Энергетика. СМИ : сайт. – 2018. – URL: <https://cleantechnica.com/2018/10/24/moixa-rolls-out-gridshare-distributed-storage-management-service/> (дата обращения – 20.08.2024).
11. Xcel Energy // Свободная энциклопедия : сайт. – 2024. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Xcel\\_Energy](https://ru.wikipedia.org/wiki/Xcel_Energy) (дата обращения – 20.08.2024).
12. Igal Zivoni. Meteo-Logic's road from a weather prediction algorithm to a power futures trading system // Энергетика. СМИ : сайт. – 2022. – URL: <https://www.calcalistech.com/ctech/articles/0,7340,L-3928560,00.html> (дата обращения – 21.08.2024).
13. Абдуназарова, Р. А. Внедрение искусственного интеллекта в возобновляемую энергетику / Р. А. Абдуназарова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2023. – № 24 (471). – С. 8–10. – URL: <https://moluch.ru/archive/471/104226/> (дата обращения: 21.08.2024).
14. Nicolai Bo Vanting. A scoping review of deep neural networks for electric load forecasting // Портал научных публикаций : сайт. – 2021. – URL: <https://energyinformatics.springeropen.com/articles/10.1186/s42162-021-00148-6> (дата обращения – 21.08.2024).
15. Метрики качества машинного обучения // Образовательная автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования : сайт. – 2024. – URL: <https://sky.pro/wiki/python/metriki-kachestva-mashinnogo-obucheniya/> (дата обращения – 22.08.2024).

# ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ SCADA-СИСТЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Колыхалов М.Е.<sup>1</sup>, Гаврилов В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», ЭПм-1-23, г. Казань, Российская Федерация, mkolyhalov@bk.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», Электроснабжение промышленных предприятий, к.т.н., доцент

## Введение

В современном строительстве вопросы автоматизации процессов управления электроснабжением играют важную роль в повышении эффективности и надежности энергосистем. С ростом масштабов строительных объектов возрастает потребность в более гибких, экономичных и высокотехнологичных решениях, которые позволяли бы контролировать состояние электрических сетей в реальном времени, оперативно реагировать на аварийные ситуации и обеспечивать высокий уровень безопасности эксплуатации электрических систем. SCADA-системы (Supervisory Control and Data Acquisition) занимают лидирующую позицию среди технологий, способных решать эти задачи.

Цель данной работы — рассмотреть особенности функционирования SCADA-систем в контексте автоматизации электроснабжения объектов капитального строительства, проанализировать их преимущества по сравнению с альтернативными системами, такими как PLC и DCS, и обосновать их экономическую и технологическую целесообразность.

## Что такое SCADA-система

SCADA-система представляет собой комплексное программно-аппаратное решение, предназначенное для управления и мониторинга распределенных объектов в режиме реального времени. Основным принципом работы SCADA заключается в сборе, обработке и отображении данных, поступающих с сенсоров и контроллеров, установленных в различных частях электрической сети. Система позволяет операторам удаленно управлять оборудованием, проводить анализ параметров электроснабжения, прогнозировать аварийные ситуации и принимать своевременные меры для их предотвращения.

Основные компоненты SCADA-системы включают:

- RTU (Remote Terminal Units) – удаленные терминалы, собирающие данные с датчиков и передающие их в центр управления;
- PLC (Programmable Logic Controllers) – контроллеры, выполняющие функции автоматического управления локальными процессами в сети;
- HMI (Human-Machine Interface) – интерфейсы для взаимодействия оператора с системой, позволяющие контролировать работу всей сети в реальном времени;
- центральный сервер – вычислительный центр, где происходит обработка и хранение данных, поступающих с RTU и PLC [1].

SCADA работает за счет постоянного мониторинга параметров сети (напряжение, ток, температура), и при обнаружении отклонений от нормы система мгновенно уведомляет оператора и предлагает возможные действия для исправления ситуации. Важным элементом является возможность предиктивной аналитики — система анализирует собранные данные и может прогнозировать возможные отказы или аварии, что позволяет заранее принять меры для их предотвращения.

## Технические характеристики SCADA-систем

– Масштабируемость: обеспечивает высокую масштабируемость, позволяя контролировать до 10 000 точек на одном объекте. Это делает систему идеальной для крупных строительных проектов с распределенными электрическими сетями и множеством узлов контроля. SCADA легко адаптируется к увеличению числа точек контроля без значительного изменения архитектуры системы.

– Точность сбора данных: обеспечивают высокую точность сбора данных с погрешностью менее 0,1 %, что достигается за счет использования точных сенсоров и датчиков, которые передают информацию через удаленные терминальные устройства (RTU). Это делает SCADA предпочтительным выбором для систем с высоким уровнем сложности, где критически важна точность данных для предотвращения сбоев и аварий [2].

– Время реакции на аварийные ситуации: реагируют на аварийные ситуации в среднем за менее чем 10 секунд, что обусловлено централизованной архитектурой и постоянной передачей данных в

реальном времени. Это обеспечивает быстрое восстановление работы системы без существенных потерь.

– Пропускная способность: поддерживает пропускную способность до 1 Гбит/с, что позволяет быстро передавать большие объемы данных в режиме реального времени. Это особенно важно для распределенных объектов с большим количеством точек контроля, где каждый момент собираются сотни мегабайт информации.

– Оптимизация энергопотребления: активно используется для оптимизации потребления электроэнергии, что позволяет снизить энергозатраты на 7–10 %. Система анализирует данные в реальном времени и регулирует нагрузку на оборудование, отключая неиспользуемые элементы и перераспределяя нагрузку в зависимости от потребностей.

– Надежность: обеспечивает коэффициент надежности 99,95 %, что обусловлено резервированием всех ключевых компонентов системы, включая сервера и каналы связи. В случае сбоя одного элемента система автоматически переключается на резервный ресурс, предотвращая простои и сбои в работе сети.

– Безопасность: Встроенные механизмы шифрования данных и аутентификации защищают систему от внешних угроз и несанкционированного доступа [2].

### **Преимущества SCADA-систем**

SCADA-системы предлагают целый ряд преимуществ при использовании на крупных строительных объектах. Одним из ключевых факторов является возможность дистанционного мониторинга и управления электрическими сетями. Это особенно важно на объектах капитального строительства, где сложные и распределенные системы требуют постоянного контроля за такими параметрами, как напряжение, ток и температура оборудования. По данным исследования, проведенного Electrical Engineering Institute в 2021 году, SCADA-системы сокращают время на устранение аварийных ситуаций на 30–40 % [3].

Ключевым преимуществом SCADA является возможность предиктивного анализа данных, что позволяет выявлять потенциальные сбои и предотвращать аварии. Например, на одном из крупных промышленных объектов Москвы внедрение SCADA позволило снизить количество аварийных ситуаций на 22 %, благодаря архивированию данных и анализу тенденций.

Примером успешного внедрения SCADA-системы в капитальном строительстве является проект электроснабжения жилого комплекса «ЗИЛАРТ» в Москве, начатый в 2019 году. Основной целью проекта было создание автоматизированной системы управления электрическими сетями, обеспечивающей стабильную и бесперебойную подачу электроэнергии на всех этапах строительства. В ходе реализации проекта SCADA-система позволила сократить время на устранение аварийных ситуаций на 35 %, а затраты на техническое обслуживание оборудования снизились на 10 %. Для сравнения, до внедрения системы при использовании традиционных методов и системы PLC, время реакции на аварии составляло в среднем 12 минут за период реализации проекта, тогда как после внедрения SCADA это время сократилось до 7 минут. Данный показатель особенно важен при работе с энергоемким оборудованием, где даже кратковременные сбои могут приводить к значительным экономическим потерям.

Исследование рынка, проведенное *Global Market Insights* в 2022 году, показало, что системы SCADA занимают лидирующую позицию на рынке автоматизации электроснабжения строительных объектов, охватывая около 45 % всех проектов автоматизации. В частности, в крупных проектах стоимостью свыше 500 млн рублей использование SCADA приводит к снижению затрат на обслуживание на 12 % и уменьшению числа аварий на 20 % по сравнению с альтернативными решениями. В этом аспекте SCADA существенно превосходит системы PLC, которые часто используются для управления локальными участками сети, но не обладают достаточной гибкостью и масштабируемостью для комплексных решений на крупных объектах [4]. В то же время, DCS-системы (распределенные системы управления), хотя и обеспечивают более быстрое время реакции (до 5 секунд), значительно уступают SCADA в стоимости внедрения, которая в среднем выше на 30–40 %.

Теперь представим комплексное сравнение трех систем: SCADA, PLC и DCS, с точки зрения ключевых параметров, таких как масштабируемость, время реакции на аварии, стоимость внедрения и возможности мониторинга. Исследование, проведенное *Electrical Engineering Institute* в 2021 году, показало, что SCADA-системы имеют наилучшее соотношение цена/эффективность при автоматизации процессов электроснабжения крупных строительных объектов.

## PLC-системы: возможности и ограничения

Программируемые логические контроллеры (PLC) также широко используются для автоматизации процессов управления электроснабжением, однако их функциональные возможности ограничены по сравнению с SCADA. PLC-системы чаще всего применяются на небольших и средних объектах, где управление электрическими сетями не требует высокого уровня гибкости и масштабируемости. Основное отличие PLC от SCADA заключается в том, что контроллеры PLC предназначены для локального управления отдельными участками сети [5]. Это делает их эффективными для простых задач, таких как управление насосными станциями или освещением. Однако при необходимости управлять крупными распределенными сетями PLC сталкивается с рядом проблем, связанных с отсутствием централизованного мониторинга и ограниченными возможностями для предиктивного анализа данных.

Недавние исследования показали, что среднее время простоя оборудования при использовании PLC составляет 5,6 часов в год, что существенно больше, чем у SCADA-систем (3,2 часа) [6]. Это связано с тем, что в случае отказа одного из контроллеров системы требуется ручное вмешательство для восстановления работы, тогда как SCADA может автоматически переключаться на резервные источники питания или оборудование.

## DCS-системы: преимущества и недостатки

Распределенные системы управления (DCS) используются преимущественно на промышленных объектах, таких как нефтеперерабатывающие заводы или объекты тяжелой промышленности, где скорость реакции на аварийные ситуации имеет решающее значение. В отличие от SCADA и PLC, DCS-системы имеют децентрализованную архитектуру, что позволяет им более оперативно реагировать на изменения в работе сети [7]. DCS-системы способны обеспечивать время реакции на аварии менее 5 секунд, что делает их незаменимыми для критически важных объектов.

Однако DCS имеет ряд ограничений, особенно в контексте применения на строительных объектах. Высокая стоимость внедрения (до 25 млн рублей) и сложность технического обслуживания делают DCS экономически невыгодными для большинства строительных проектов. Кроме того, DCS требует значительных ресурсов для интеграции с другими системами управления, что увеличивает затраты на эксплуатацию.

Тем не менее, для объектов с повышенными требованиями к безопасности, таких как химические заводы, DCS-системы могут быть более предпочтительными. Например, на заводе "Киришинефтеоргсинтез" внедрение DCS позволило сократить число аварий на 30 % за счет мгновенного реагирования на изменения в параметрах работы оборудования [8].

## Комплексное сравнение SCADA, PLC и DCS

Для более детального понимания преимуществ SCADA-систем в сравнении с альтернативными решениями представим сводную таблицу 1, отражающую ключевые параметры эффективности каждой из систем.

Таблица 1

*Комплексное сравнение SCADA, PLC и DCS на строительных объектах*

Параметр	SCADA	PLC	DCS
Масштабируемость	Высокая	Ограниченная	Высокая
Время реакции на аварии	< 10 сек	10–20 сек	< 5 сек
Стоимость внедрения (млн руб)	8–15	5–10	15–25
Возможности мониторинга	Широкие	Ограниченные	Широкие
Интеграция с другими системами	Легкая	Ограниченная	Сложная
Техническое обслуживание	Среднее	Низкое	Высокое
Среднее время простоя (ч/год)	3,2	5,6	2,5
Эксплуатационные затраты (млн руб/год)	8,5	9,6	12,3
Процент снижения аварий	22 %	10 %	30 %

Таблица подтверждает, что SCADA-системы обеспечивают оптимальное сочетание цены и функциональности, предлагая высокую масштабируемость, широкие возможности мониторинга и надежное управление для крупных строительных объектов. В сравнении с PLC, SCADA демонстрирует

лучшие показатели по времени простоя, а также снижению аварий, что особенно важно для проектов, требующих высокой надежности электроснабжения. DCS-системы, в свою очередь, обеспечивают лучшее время реакции на аварийные ситуации, но их высокая стоимость и сложность обслуживания делают их менее подходящими для использования в строительных проектах средней величины.

Если учесть все технические возможности, преимущества и отличительные качества систем, SCADA, благодаря умеренным начальным затратам, экономии на энергопотреблении и низким расходам на устранение аварий, становится самым выгодным решением в долгосрочной перспективе (рис. 1). DCS, несмотря на высокую надежность и быстрое время реакции, остаётся дорогой из-за высоких эксплуатационных затрат. PLC, хотя и требует меньших начальных вложений, оказывается дорогим в эксплуатации из-за высоких затрат на обслуживание и устранение аварий.

График показывает, что SCADA становится наиболее экономичной через несколько лет, в то время как DCS и PLC продолжают нести большие расходы.

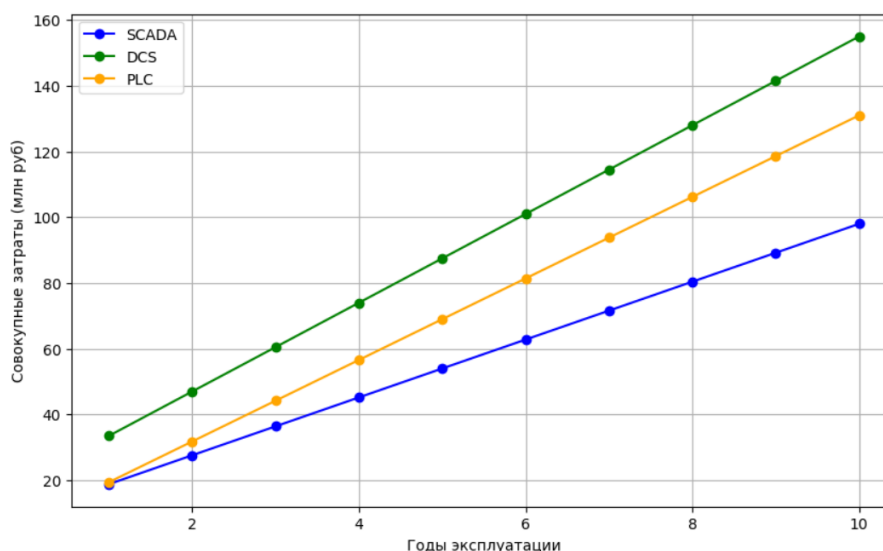


Рис. 1. Долгосрочные выгоды внедрения SCADA по сравнению с DCS и PLC

## Заключение

SCADA-системы являются наиболее оптимальным решением для автоматизации управления электроснабжением объектов капитального строительства. Их преимущества включают широкие возможности по мониторингу и управлению, снижение эксплуатационных затрат и повышение надежности электросетей. В сравнении с альтернативными решениями, такими как PLC и DCS, SCADA демонстрирует наилучшее сочетание цены и функциональности, что делает её предпочтительным выбором для большинства строительных проектов. Внедрение SCADA позволяет не только улучшить управление сетями, но и снизить риски, связанные с аварийными ситуациями, что особенно важно в современных условиях цифровизации строительства.

## Список использованных источников

1. Солдатов С.В. Интеграция SCADA-систем и систем управления предприятием // В записную книжку инженера. – СТА 1, 2021. – С. 90–94.
2. Самородова Л.Л., Любимов О.В., Якунина Ю.С. Применение SCADA-систем в угольной промышленности // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2019. – № 6. – С. 206–213.
3. Павлова А.С. Состояние и перспективы развития САПР в России для технологических объектов, имеющих многосвязную структуру // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2018. – № 4, Т. 11. – С. 80–86.
4. Реймген Ю.Э. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. SCADA система. Часть I. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – С. 386–393.
5. Луков Д.К. Автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) // European science. – 2019. – № 2 (44). – С. 19–21.

6. Крымский В.Г., Жалбеков И.М., Имильбаев Р.Р., Юнусов А.Р. Автоматизация управления технологическими процессами в газораспределительных сетях: проблемы, тенденции и перспективы // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2017. – № 2. – С. 70–79.

7. Андреева М.М., Шагапов И.Л., Соловьев Н.В., Нуретдинов И.И. Современные SCADA-системы в химико-технологической промышленности // Вестник Казанского технологического университета. – 2022. – С. 312–315.

8. Пьявченко Т.А. Управление технологическими процессами на основе SCADA // Научный журнал КубГАУ. – 2017. – № 128 (4). – С. 2–22.

# СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ТОКА НАГРУЗКИ ФИЛЬТР-КОМПЕНСИРУЮЩИМИ УСТАНОВКАМИ С УЧЕТОМ ИХ ЗАВИСИМОСТИ ОТ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОСЕТИ

*Зарипов Р.К.<sup>1</sup>, Тукушаитов Р.Х.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО КГЭУ, МФЭа-1-22, e-mail: zrust@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО КГЭУ, профессор, кафедра ЭХП, e-mail: trh\_08@mail.ru

## Введение

При изучении уровня нелинейных искажений тока нагрузки  $K_I$  различных электроприборов в низковольтных электросетях (ЭС) выявлена зависимость от ряда факторов: места проведения экспериментов (промышленный сектор, многоквартирный жилой дом, частный сектор), время их проведения, точка снятия основных характеристик и т.д. Для оптимального подавления высших гармоник (ВГ) в электросетях, необходимо определить основные параметры, влияющие на их уровне и учитывать их при разработке различных фильтр-компенсирующих установок (ФКУ). Целью данной работы является выявление зависимости  $K_I$  различных электроприборов от условий эксплуатации и влияния уровня нелинейных искажений напряжения электросети  $K_U$  как основного внешнего фактора, влияющего на уровень  $K_I$ .

## Актуальность вопроса

В современном мире идет постоянное увеличение потребления электрической энергии в промышленности и в частном секторе. При этом увеличивается количество электроприборов с нелинейными характеристиками: как в количественном, так и процентном от общего числа электропотребителей выражении. Такие приборы являются источниками ВГ, что приводит к снижению качества электроэнергии в ЭС. Если в промышленности преобладают аппараты с электрической дугой и частотными преобразователями [1-5], то в частном секторе это преимущественно приборы с импульсными преобразователями напряжения [6-9], которые в некоторой степени можно отнести к частотным преобразователям: в их инвенторах идет преобразование рабочего переменного напряжения 50 Гц в высокочастотное 30-70 кГц путем широтно-импульсной модуляции (ШИМ). При этом возникает резонанс, создающую эмиссию высших гармоник в ЭС, которые ведут к излишним перегрузкам электрических сетей, ускоренному старению изоляции и созданию помех работе чувствительных электроприборов. Для уменьшения последствий влияния ВГ и разработки эффективных способов их снижения [10], необходимо понимать их природу и зависимость от условий эксплуатации.

## Методика исследования

Изначально ставилась задача определения зависимости уровня коэффициента нелинейных искажений тока нагрузки от удаленности точек замеров и источника эмиссии ВГ. Для этих целей применялись удлинители различной длины, анализатор качества электрической энергии CIRCUTOR AR-5 и электроприбор с высоким уровнем эмиссии ВГ. В качестве нагрузки была выбрана светодиодная лампа (СДЛ) Camelion мощностью 10 Вт,  $K_I$  которой достигает 200 % [11-12]. С помощью удлинителей и анализатора качества были зафиксированы  $K_I$  в различных точках: сразу после СДЛ, на удалении 10 м, 50 м, 100 м и 200 м. Существенного влияния удаленности источника эмиссии ВГ от точек замеров на уровень  $K_I$  выявить не удалось. При этом было замечено, что есть некоторая зависимость уровня  $K_I$  от коэффициента нелинейных искажений напряжения сети  $K_U$ , что подтолкнуло к проведению новых исследований.

В лаборатории ВУЗа были проведены эксперименты с имеющимися в наличии различными линейными и нелинейными электроприборами, обладающими значениями  $K_I$  от 1,5 % и до 200 %. В ходе экспериментов с последовательными измерениями  $K_I$  каждого потребителя, был зафиксирован разброс его значений даже в короткий промежуток времени. Это выполнялось для всех электроприборов вне зависимости от локации и времени суток проведения экспериментов. При этом показания  $K_I$  одного и того же электроприбора в различных условиях отличались до 20 %, а отличия  $K_U$  были зафиксированы не столь значительными. Это натолкнуло на мысль о прямой зависимости  $K_I$  от  $K_U$  электросети.

## Результаты исследований

Для подтверждения зависимости изменения коэффициента нелинейных искажений тока нагрузки от различных факторов, были проведены ряд суточных экспериментов. В качестве нагрузки

были выбраны СДЛ Gauss, Camelion и Онлайн мощностью 10 Вт, имеющие  $K_I$  в пределах 20-200 %, а также лампы накаливания мощностью 40 Вт и 200 Вт с уровнем  $K_I$  в пределах 1,5-5 %. Для удобства оценки зависимости  $K_I$  от  $K_U$  различных приборов, было необходимо снижение уровня  $K_I$  в пределах 5-10 %, что было достигнуто параллельным подключением к СДЛ линейных нагрузок: электрических плиток и ламп накаливания различной мощности. В ходе экспериментов проведены записи  $K_I$  с интервалом в 2 минуты в течении суток для различных локаций и дней недели разных электроприборов. После оцифровки результатов определены пределы изменения  $K_U$  от 1,5 до 4,7 % и рассчитаны средние значения  $K_I$  для каждого уровня  $K_U$  с шагом в 0,1 %. Все записи, за исключением сценария 2, были проведены в будние дни. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

*Усредненные значения зафиксированных в течении суток  $K_I$*

$K_U$	Gauss +130 Вт	Онлайн + 130 Вт (выходн)	Онлайн + 130 Вт	Camelion + 330 Вт	Онлайн + 200 Вт	Онлайн +240 Вт	Онлайн +275 Вт	ЛН 200 Вт	ЛН 40 Вт
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,6	8,37	6,6	5,84	5,25	3,8	3,25	2,95	1,9	1,74
1,7	8,29	6,58	5,74	5,17	3,7	3,2	2,85	1,95	1,77
1,8	8,21	6,54	5,63	5,10	3,58	3,15	2,8	2	1,85
1,9	8,13	6,49	5,5	5,03	3,42	3,07	2,75	2,1	1,9
2	8,05	6,44	5,4	4,96	3,31	3	2,7	2,2	1,98
2,1	7,97	6,39	5,32	4,86	3,25	2,92	2,7	2,28	2,05
2,2	7,89	6,34	5,25	4,80	3,2	2,85	2,67	2,37	2,1
2,3	7,81	6,28	5,2	4,75	3,15	2,78	2,6	2,46	2,2
2,4	7,73	6,25	5,15	4,70	3,07	2,7	2,55	2,53	2,33
2,5	7,65	6,22	5,08	4,65	3	2,65	2,45	2,65	2,42
2,6	7,57	6,19	5	4,61	2,97	2,6	2,41	2,73	2,5
2,7	7,49	6,15	4,97	4,58	2,93	2,55	2,37	2,8	2,55
2,8	7,42	6,09	4,91	4,56	2,9	2,53	2,3	2,86	2,65
2,9	7,35	6,03	4,88	4,52	2,88	2,47	2,25	2,95	2,73
3	7,23	5,96	4,82	4,45	2,85	2,4	2,2	3,05	2,78
3,1	7,14	5,9	4,73	4,40	2,83	2,37	2,19	3,14	2,83
3,2	7,06	5,85	4,66	4,35	2,81	2,35	2,17	3,21	2,85
3,3	6,98	5,81	4,62	4,25	2,75	2,32	2,15	3,29	2,89
3,4	6,89	5,78	4,55	4,15	2,72	2,3	2,14	3,35	2,94
3,5	6,81	5,75	4,5	4,10	2,7	2,28	2,1	3,45	3,02
3,6	6,75	5,72	4,47	4,06	2,65	2,27	2,08	3,55	3,13
3,7	6,62	5,69	4,44	4,04	2,62	2,27	2,05	3,65	3,2
3,8	6,53	5,66	4,4	4,01	2,58	2,23	2	3,78	3,3
3,9	6,44	5,63	4,36	4,00	2,55	2,17	1,99	3,91	3,37
4	6,38	5,6	4,32	3,98	2,51	2,14	1,95	4,02	3,47
4,1	6,32	5,57	4,3	3,95	2,45	2,12	1,91	4,1	3,59
4,2	6,27	5,54	4,28	3,94	2,4	2,1	1,89	4,21	3,72
4,3	6,18	5,51	4,27	3,92	2,36	2,08	1,88	4,3	3,8
4,4	6,11	5,48	4,26	3,90	2,3	2,05	1,87	4,41	3,85
4,5	6,04	5,45	4,25	3,89	2,28	2,04	1,86	4,48	3,89
4,6	5,97	5,4	4,23	3,88	2,27	2,03	1,84	4,55	3,95
4,7	5,92	5,37	4,2	3,87	2,25	2,04	1,81	4,6	4,02
4,8	5,89	5,34	4,18	3,87	2,24	2,02	1,8	4,68	4,1
4,9	5,88	5,33	4,17	3,86	2,24	2	1,77		



По результатам экспериментов были построены графики зависимости  $K_I$  от  $K_U$  для девяти различных сценариев.

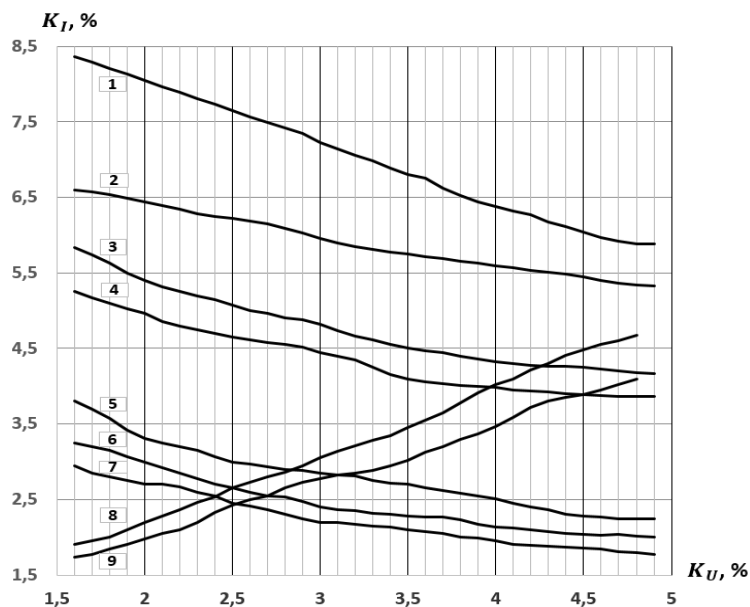


Рис. 1. Графики зависимости  $K_I$  от  $K_U$  для различных электроприборов

Из графиков видно, что есть прямая зависимость  $K_I$  от  $K_U$  для линейных и нелинейных электроприборов. Если для линейных потребителей зависимость линейно-возрастающая, то для нелинейных наоборот, линейно-убывающая. Соответственно, можно утверждать, что происходит подавление нелинейных искажений тока нагрузки нелинейными искажениями напряжения электросети.

Из графиков 1-7 видно, что практически все кривые идентичны, и только вариант 2, построенный по результатам эксперимента в выходной день, отличается от остальных будничных вариантов. Сравнение кривых 2 и 3, построенных для одной и той же нагрузки в одной и той же локации, но различные дни недели (будни и выходные) наглядно демонстрирует, что отличия среднего значения  $K_I$  при одинаковом уровне  $K_U$  достигают 30 %. Это свидетельствует о наличии иных факторов, влияющих на уровень нелинейных искажений тока нагрузки.

Кривые 1, 3, 4, 5, 6 и 7 практически параллельны и отличаются лишь точками начала графиков. Это происходит из-за разного уровня собственной эмиссии у СДЛ и различной мощности шунтирующих линейных нагрузок. Схожесть графиков 3, 5, 6 и 7, построенных для одного и того же СДЛ Онлайт 10 Вт с параллельным подключением линейных нагрузок от 130 до 275 подтверждает правильность выполнения экспериментов и полученных выводов.

## Заключение

Проведенные исследования показывают, что  $K_I$  линейных и нелинейных электроприборов зависит как от уровня собственной эмиссии, так и от внешних условий эксплуатации: место расположения и предназначение электросети, время и день недели проведения экспериментов. При этом наибольшее и прямое влияние на величину коэффициента нелинейных искажений тока нагрузки  $K_I$  оказывает уровень нелинейных искажений напряжения электросети  $K_U$ . Поскольку видно, что различные нелинейные искажения взаимоподавляются, эксперименты по изучению взаимодействия  $K_I$  различных электроприборов будут продолжены.

Результаты экспериментов демонстрируют зависимость  $K_I$  не только от уровня  $K_U$  электросети, но и других его параметров. Даже при использовании ФКУ и приведения уровня нелинейных искажений до соответствующих нормативным требованиям допустимых значений, в некоторых моментах уровень высших гармоник в сети может быть превышен, если не были учтены все параметры, влияющие на их эмиссию. Для выбора оптимального способа снижения коэффициента нелинейных искажений тока нагрузки и эффективной работы фильтр-компенсирующих установок, при их разработке необходимо изучить уровень коэффициента нелинейных искажений напряжения и другие параметры электросети, в которой данный ФКУ планируется эксплуатировать.

## Список использованных источников

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. М.: Энергоатомиздат, – 2004. – 439 с.
2. Барутсков И, Б., Вдовенко С.А., Цыганов Е.Б. Гармонические искажения при работе преобразователей частоты // Главный энергетик. – 2011. – № 6. – С. 5–15.
3. Бирюлин В.И., Куделина Д.В., Брежнев И.В. Исследование проблем качества электроэнергии в сетях напряжением 0,4 кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – №2. – С. 73–85.
4. Тукшаитов Р.Х., Семенова О.Д., Корнилов В.Ю. Оценка влияния силовой электроники на синусоидальность напряжения электросети жилого сектора ЖКХ и организаций // Практическая силовая электроника. – 2021. – № 2 (82). – С. 53–56.
5. Зырянов В.М., Митрофанов Н.А. Работа конденсаторных установок в условиях гармонических искажений кривых тока и напряжения // Сб. трудов Международной научно-практической конференции «Управление качеством электрической энергии». М.: Центр полиграфических услуг «Радуга», 2018. – С. 130–135.
6. Тукшаитов Р.Х., Зарипов Р.К. Спектральный состав тока разных нагрузок и анализ эффективности снижения эмиссии его гармоник в электросеть // Практическая силовая электроника. – 2024. – № 3 (95). – С.37–41.
7. Хруслов Л.Л., Ростовников М.В., Шишов В.А., Киреев С.И. Высшие гармоники в сетях низкого напряжения с элементами силовой электроники. Опыт непрерывного мониторинга // Сб. трудов Международной научно-практической конференции «Управление качеством электрической энергии». М.: Центр полиграфических услуг «Радуга», 2018. – С. 181–186.
8. Тукшаитов Р.Х., Семенова О.Д., Новокрещенов В.В. Оценка уровня нелинейных искажений электроустановок на основе моделирования длительности импульса их входного тока // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2022. – № 3. – С. 23–26.
9. Тукшаитов Р.Х. О коэффициенте мощности и cosφ выпрямительного устройства при разных активностных нагрузках и уровне эмиссии в электросеть высших гармоник // Практическая силовая электроника. – 2019. – № 3. – С. 9–11.
10. Коверникова Л.И. Централизованное снижение уровня высших гармоник в сети высокого напряжения с распределенными нелинейными нагрузками с помощью пассивных фильтров – Электричество. – 2010. – № 9. – С. 50–55.
11. Тукшаитов Р.Х., Корнилов В.Ю., Айхайти И. Салимуллин М.З. Коэффициент мощности светодиодных ламп в течение суток в зависимости от коэффициента искажения напряжения электросети. В сборнике: Фундаментальная и прикладная проблемы физики. / В.К. Свешников (отв. редактор). – Саранск, 2017. – С. 18–22.
12. Тукшаитов Р.Х., Зарипов Р.К. Об одном эффективном способе снижения уровня эмиссии светодиодными лампами в электросеть высших гармоник промышленной частоты // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. – 2023. – № 1 (76). – С. 70–74.

# АРХИТЕКТУРА ПОИСКА АНОМАЛИЙ В РАБОТЕ ТВЭЛ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ СВЯЗНОГО МОДУЛЯ ПЕЛЬТЬЕ С ЭЛЕМЕНТАМИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Любимов П.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II  
e-mail: pavel.lyub@yandex.ru

## Введение

Предиктивная аналитика способствует обеспечению надежности производственного цикла, предвещая состояния объекта, однако построение алгоритма для каждой технической единицы это уникальный процесс, не сводимый к общей методологии, эту проблему можно разрешить применением опосредованной архитектуры, основанной на анализе и прогнозировании состояния другого элемента, связанного с основным по ключевому параметру, для этой цели идеально подходит термоэлектрический преобразователь [1].

Результатом работы послужило построение множеств состояний объекта контроля, ТВЭЛ (тепловыделяющий элемент) реактора, с приведением соответствия состояний ТВЭЛ и режимов работы модуля Пельтье, а также часть упрощенного виденья полного алгоритма.

## Описание алгоритма

В работе на основе базовой модели ТЕС-12715 экспериментально строятся выборки значений выходного напряжения от различных температурных режимов на обкладках модуля, для полученных поминутных выборок с дискретизацией в одну секунду рассчитываются основные статистические характеристики и строятся переходные процессы. В начале исследуется нормальный режим работы, соответствующий постоянной температуре горячего источника и установившемуся режиму работы. Для модели ТЕС-12715 получим выборку значений выходного напряжения при нормальном режиме эксплуатации, определяя дисперсию генеральной выборки, оценим разброс значений. Для получения нормальной кривой, определим интервалы времени, в течении которых избираются выборки, так при подведении низкотемпературного источника тепла в 36 °С, в течении первого часа произвольным образом выбираются последовательно три поминутных интервала, в течении которых, с шагом дискретизации в одну секунду, регистрируются показания мультиметра. В последующих промежутках, спустя два часа и три часа, также произвольно сводятся выборки по выходному значению напряжения, но уже для одной минуты в каждом часе, режим системы в это время считается устоявшимся, полученные результаты отражены в графическом материале на рис. 1-2.

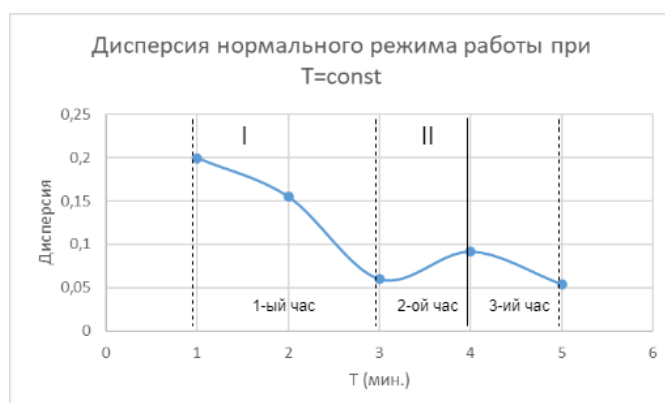


Рис. 1. Дисперсия устоявшегося режима: I – первый час выборки; II – второй и третий час выборки

Как следует из рис. 1, область графика I, интервал первого часа, соответствует малому переходному процессу, дисперсия с каждым последующим замером выборки падает, область II, соответствует устоявшемуся режиму, дисперсия в конце первого и в произвольные промежутки времени второго и третьего часа, колеблется в одном диапазоне, не превышающем дисперсии начала переходного процесса и произвольной выборки, как минимум первой половины, этого же переходного процесса. Для этих же выборок построим плотность распределения напряжения по карману от 10,4 до 13 мВ, обусловленному наибольшей содержательностью всех возможных напряжений, рис 2. Для прочих режи-

мов работы, при подведении температурного источника в 54 °С с целью получения переходных характеристик, для режима работы при достижении верхнего температурного уровня элемента в 90 °С горячим источником в 100 °С и для режима превышения максимально допустимой температуры источником в 240-270 °С и до наступления предельного состояния, до отказа элемента. Получив цикл переходного процесса, разобьем его на кусочные функции повышения и падения  $\Delta T$ , по аппроксимирующей кривой построим уравнение переходных процессов, определим время переходного процесса.

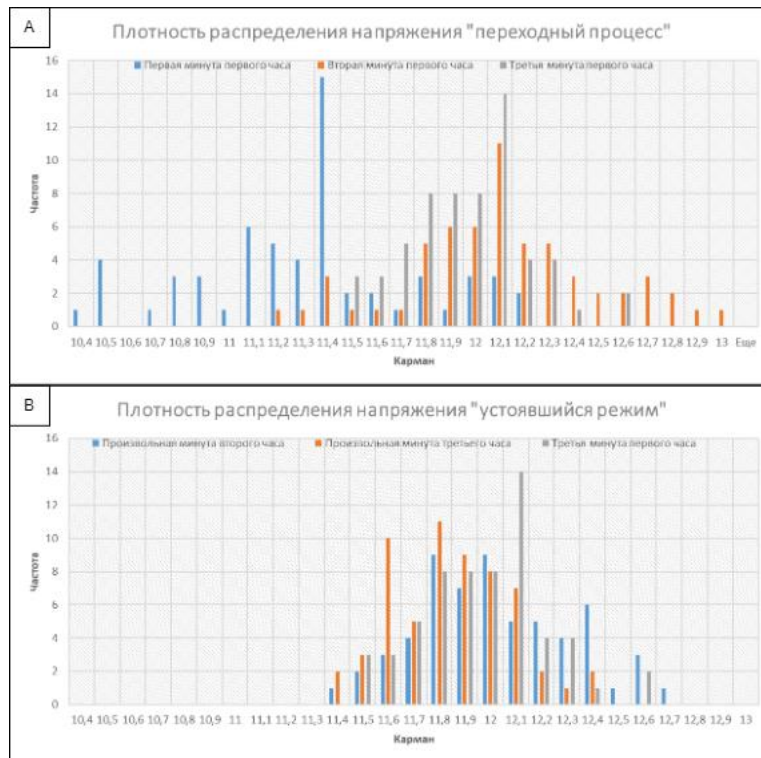


Рис. 2. Дисперсия устоявшегося режима

Из распределения напряжения можно заметить, что, как и для малого переходного, так и для устоявшегося режима имеет место картина приближенная к нормальному распределению, отклонения некоторых параметров обоснованы наличием колебаний температуры и отсутствием полной изоляции системы от внешней среды, а также самой системой, где колебания внешних условий в текущий момент времени закладывают отпечаток в инерционность теплопроводности между обкладками, искажая картину распределения, этому может свидетельствовать тот факт, что картина А имеет более нормализованную форму распределения. Помимо стремления выборки к нормальному распределению важно также отметить сужение диапазона кармана распределения, картина В. Картины переходных процессов и их функции рис. 3.

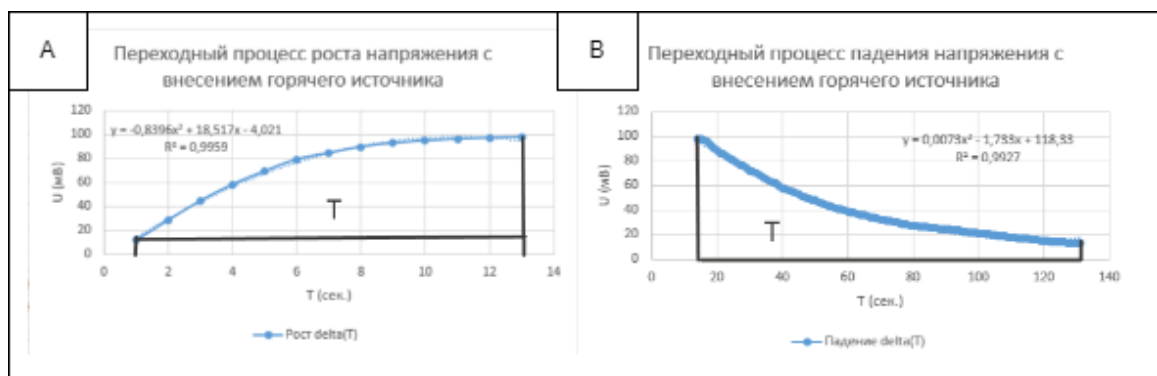


Рис. 3. Переходные процессы: T-длительность переходного процесса

Распределение плотности напряжения переходных процессов представлено на рис. 4.

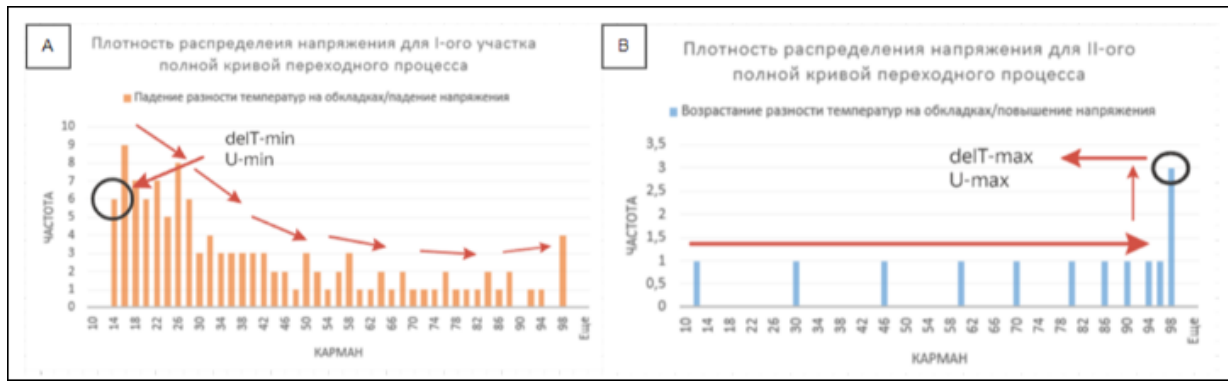


Рис. 4. Распределение плотности напряжения для переходных процессов

$$\sigma_I = 752 \quad \sigma_{II} = 581 \quad \sigma_{\text{для цикла}} = 696 \quad (1)$$

Для прочих режимов реализуются те же построения (рис. 5).

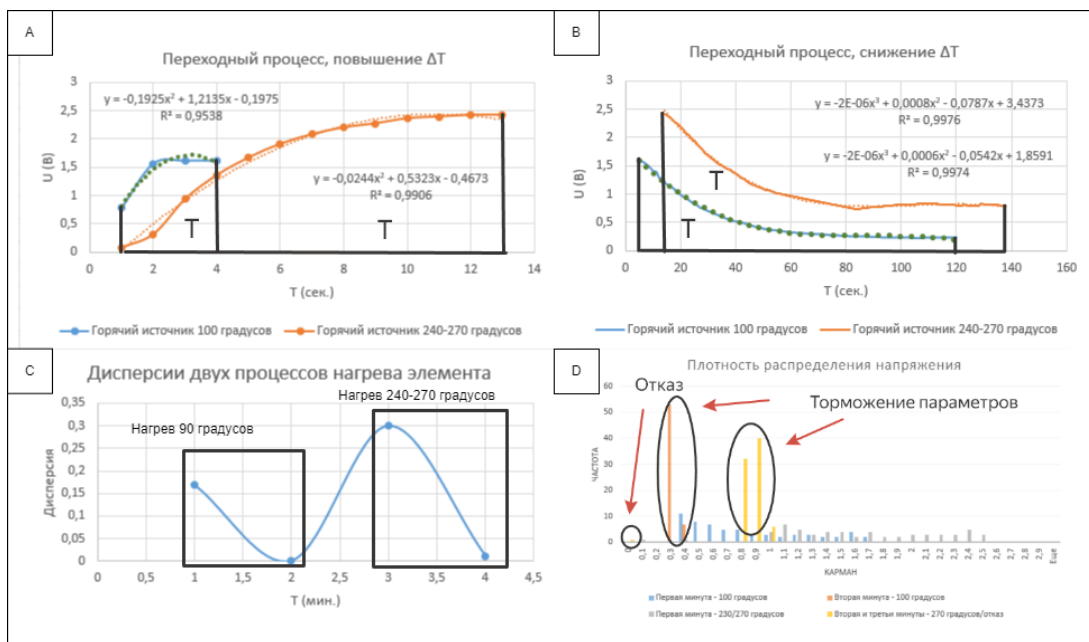


Рис. 5. Построение распределения и переходных процессов в экспериментах с горячим источником в 100 °C и 240–270 °C

В экспериментах с горячим источником в 54 °C и 240–270 °C идентичное время переходного процесса, как для процесса увеличения разности температур на обкладках модуля, так и для снижения, картина переходного процесса при 100 °C для повышения разности  $\Delta T$  может быть связана с ошибкой дискретизации или импульсным контактом с источником. При предельной нагрузке элемента наблюдается смещение плотности распределения в единичные интервалы карманов, дисперсия подчиняется прежней логике. Длительность работы элемента при сверхкритических температурах составила 3 минуты. Дифференциал  $dU/dt$  от уравнений переходных процессов характеризует скорость изменения напряжения во времени. Торможение параметров может свидетельствовать о физических изменениях в структуре материала модуля, приводя значения напряжения в одинарный интервал карманов. Для импульсного контакта обкладок с горячим источником (рис. 6).

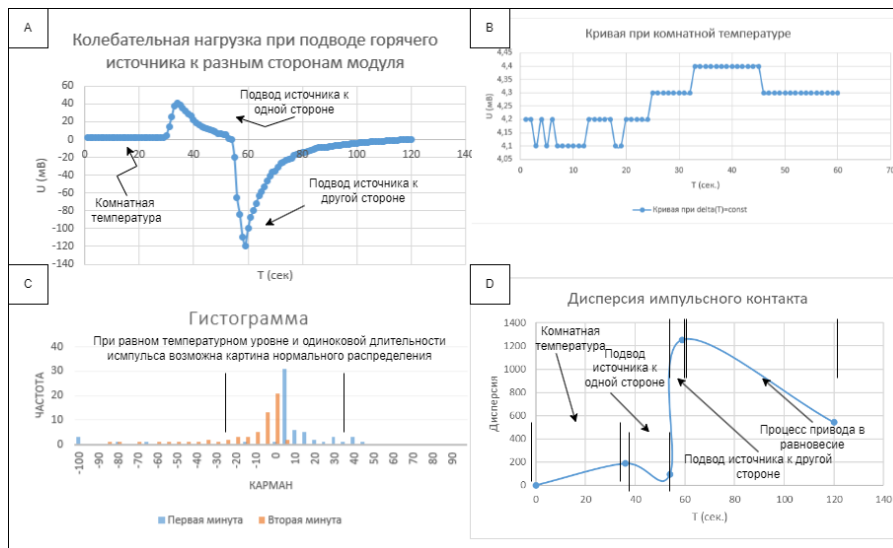


Рис. 6. Картины для импульсного контакта с горячим источником

Во всех переходных режимах соблюдается логика распределения дисперсий, однако, для выборки импульсного момента контакта обеих сторон, дисперсия наибольшая. Импульсный переменный характер укорачивает время переходного процесса для каждого изменения  $\Delta T$  кроме процесса привода системы в равновесие. Обоюдные ступенчатые гистограммы распределения плотности напряжения в совокупности образуют картину нормального распределения. При импульсном контакте, по его завершении дисперсия стремится вернуться к распределению в диапазон устоявшегося режима (рис. 1). Наиболее полно и наглядно свести причинно-следственные связи ТВЭЛ и модуля Пельтье можно построением диаграммы Исикавы (рис. 7).

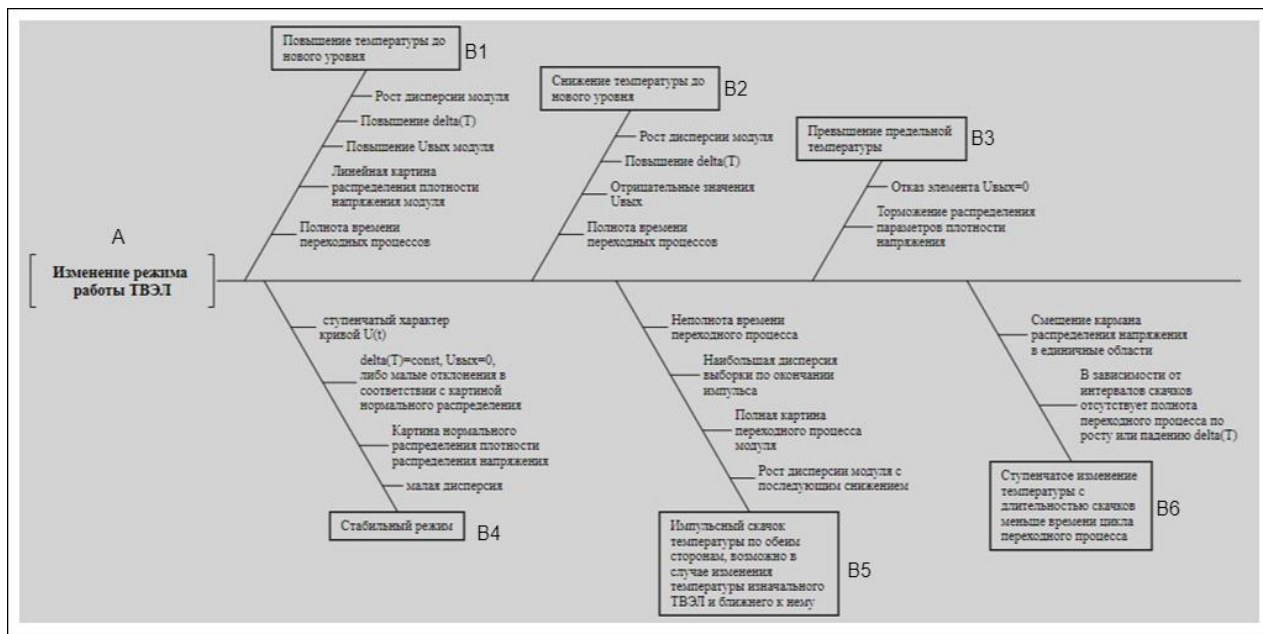


Рис. 7. Диаграмма Исикавы для определения соответствий режима работы ТВЭЛ и модуля: А – состояние следствия, событие; В – причины, вероятности каждого из переходных процессов

Воспринимая всю диаграмму как множество несовместных событий верно утверждение:

$$P(A) = P(B_1) + P(B_2) + P(B_3) + P(B_4) + P(B_5) + P(B_6) = 1 \quad (2)$$

Полученные выше результаты, дополняя статистическими данными по эксплуатации ТВЭЛ и соответствующими априорными вероятностями можно построить логическую модель с базой наработанной по режимам элемента Пельтье, можно произвести простую переоценку, условно, сократим мно-

жество до одного оцениваемого события  $B_1$ , выберем для переоценки один из экспериментально установленных параметров модуля, время переходного процесса и знание о его длительности для расчета апостериорных вероятностей по теореме Байеса, полагая температурный режим ТВЭЛ, как правило, колебательным с частотой 0-0,5 Гц с периодом до 10 секунд [2].

Вероятность выхода колебательного режима ТВЭЛ за нормальный режим:

$$P(A) = 0,1 \text{ – априорная вероятность} \quad (3)$$

Вероятность наличия переходного процесса  $B_1$  при  $T_{max} = 13$  с для зафиксированного времени 12 с:

$$P(B_1) = \frac{T_{п.п.}}{T_{max}} = \frac{12}{13} = 0,92 \quad (4)$$

Вероятность повышения температуры элемента при выходе за нормальный режим:

$$P(B_1|A) = 1 \text{ – априорная вероятность} \quad (5)$$

Переоценка вероятности гипотезы по событию  $B_1$ :

$$P(A|B_1) = \frac{P(A)*P(B_1|A)}{P(B_1)} = \frac{0,1*1}{0,92} = 0,108 \quad (6)$$

Рост вероятности отражает влияние длительности переходного процесса в модуле на такое событие как выход за нормальный колебательный режим самого ТВЭЛ. Используя любые полученные данные в экспериментах в том числе длительности переходных процессов, дисперсии и плотности распределения, дополняя базу данных статистическими данными для вывода логических ограничений и априорных вероятностей, можно построить полнотелую модель архитектуры, основанной на опыте эксплуатации, возможных переходных процессов модуля и их характеристиках.

### **Заключение**

Дальнейшая работа может заключаться в дополнении источниками априорной базы и построении цельного алгоритма для всего множества событий по связному модулю.

### **Список использованных источников**

1. Luo X. et al. A kernel machine-based secure data sensing and fusion scheme in wireless sensor networks for the cyber-physical systems // Future Generation Computer Systems. – 2016. – Т. 61. – С. 85–96.
2. Судаков А.В. Техника и методы физических измерений ядерные реакторы АЭС: учеб. пособие. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 195 с.



# АЛГОРИТМ РАСЧЕТА И ПОВЕРКИ СОСТАВА ПРИРОДНОГО ГАЗА ПО ПРОЦЕНТНОМУ СОДЕРЖАНИЮ КОМПОНЕНТОВ

Любимов П.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, ЭНФ, ТЭМ-23  
e-mail: pavel.lyub@yandex.ru

## Введение

Частой практикой является решение задач по расчету термодинамических циклов в энергетических установках, одна из задач при проведении таких предварительных расчетов сводится к составлению балансовых уравнений и расчету расхода топлива, так помимо расчетных параметров в такие расчеты вводятся параметры состава топлива, соответственно качество введенных параметров, их достоверность, напрямую отражается на результатах [1].

Результатом работы послужит алгоритм проверки достоверности входных расчетных данных по процентному составу топлива и сам алгоритм расчета, реализованный в “пакете” MathCad.

## Описание алгоритма

Автоматизация прикладных расчетов значимый элемент производственного цикла, обеспечение удобной и наглядной картины расчета в среде программ математического анализа упрощает процесс обращения с данными. При расчете продуктов сгорания и их объемных составляющих можно производить верификацию данных на трех основных этапах, повышая достоверность выходных значений для дальнейших расчетов, первый уровень верификации производится на этапе ввода элементарного состава топлива по объему в процентах, второй при расчете объемных долей, для третьего этапа объемные доли пересчитываются в массовые и соотносятся с объемными [2]. Исходными данными к выполнению подобных теплотехнических расчетов послужит элементарный состав топлива по объему, для приведения алгоритма к состоянию вычисления примем исходные данные, представленные ниже. Элементарный состав топлива по объему:

$$\begin{aligned}CH_4 &= 98,5 \text{ \%} \\C_2H_6 &= 0,44 \text{ \%} \\C_3H_8 &= 0,04 \text{ \%} \\C_4H_{10} &= 0,02 \text{ \%} \\CO_2 &= 0,10 \text{ \%} \\N_2 &= 0,90 \text{ \%}\end{aligned}$$

Основное расчетное уравнение – теоретическое количество воздуха необходимое для полного сгорания 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива:

$$V_0 = 0,0478 \cdot \left[ 0,5 \cdot (H_2 + CO_2) + 1,5 \cdot H_2S + 2CH_4 \sum (m + \frac{n}{4}) \cdot C_m H_n - O_2 \right] \quad (1)$$

На начальном этапе реализуется задание свободных переменных, входных данных по составу топлива и проводится проверка логической составляющей введенных компонент (рис. 1).

**Расчет и валидация продуктов сгорания природного газа**

CH4 := 98.5  
C2H6 := 0.44  
C3H8 := 0.04  
C4H10 := 0.02  
CO2 := 0.1  
N2 := 0.9

Answer := 0    y := 0    Переменные проверки  
a := 1.2    коэффициент избытка воздуха

**Проверка суммы состава**

```
Проверка(CH4, C2H6, C3H8, C4H10, CO2, N2, y, Answer) :=  
y ← CH4 + C2H6 + C3H8 + C4H10 + CO2 + N2  
Answer ← "Верно" if y = 100  
Answer ← "Неверно" otherwise  
break
```

Проверка(CH4, C2H6, C3H8, C4H10, CO2, N2, y, Answer) = "Верно"

Рис. 1. Ввод переменных, проверка суммы состава топлива



Матрицами задаются значения ординат и координат в трехосной системе для привязки и отображения на одном графике высокопроцентного метана (рис. 2).

Графическое представление состава топлива по правой оси метан, все прочие компоненты по левой оси.

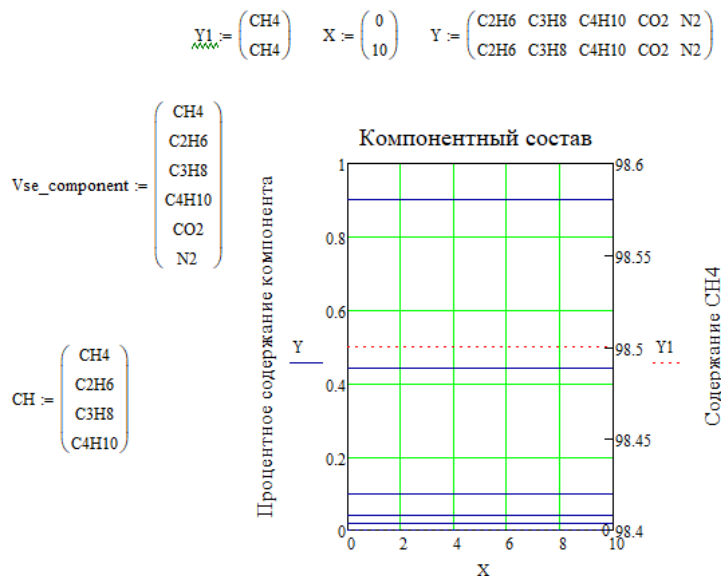


Рис. 2. Графическое отображение результатов ввода и проверки

Далее рассчитывается теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания газообразного топлива и объемный состав продуктов сгорания, введение матричного ввода переменных позволяет просто адаптировать алгоритм к расширенному перечню компонент топлива, этим же обосновано ведение многоблочной архитектуры объектов кода, где заключен простой расчет объемной составляющей компоненты топлива рис. 3-4. Также важно отметить, что расширяя матричные элементы в дальнейшем нет необходимости переписывать функцию, входящую в сценарий кода, поскольку возможен вызов элемента матрицы непосредственно внутри кодового блока. На этапе расчета объемных составляющих реализован второй этап проверки данных. По результатам расчета полного относительного объема на следующем этапе при пересчете объемных долей в массовые, производится заключительная оценка корректности расчетов.

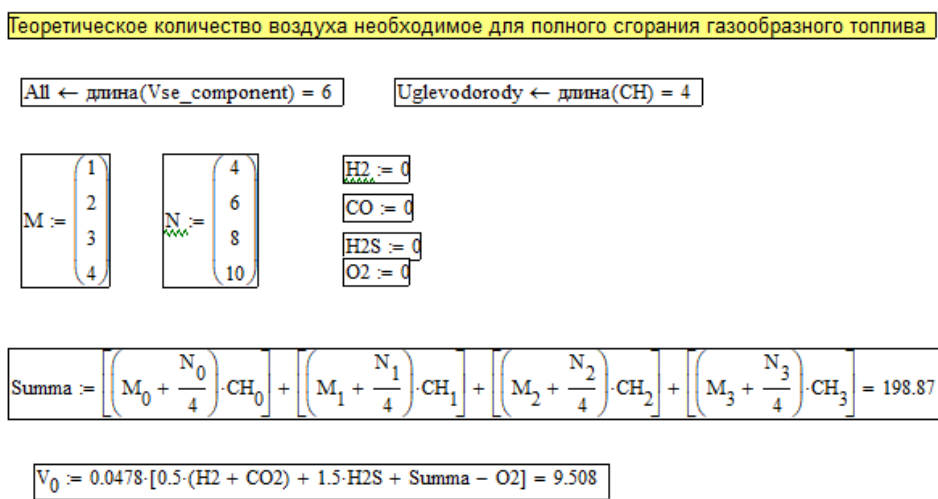


Рис. 3. Расчет теоретического количества воздуха необходимого для полного сгорания газообразного топлива

**Объемный состав продуктов сгорания**

Для азота

$$VN2(V_0, N2, a, y) := \begin{cases} y \leftarrow 0.01 \cdot N2 + a \cdot 0.79 \cdot V_0 \\ \text{break} \end{cases}$$

$$VN2(V_0, N2, a, y) = 9.023$$

Для трехатомных газов

$$\text{Summ} := (M_0 \cdot CH_0) + (M_1 \cdot CH_1) + (M_2 \cdot CH_2) + (M_3 \cdot CH_3) = 99.58$$

$$VRO2(V_0, H2S, CO, CO2, y) := \begin{cases} y \leftarrow 0.01 \cdot (0 + CO2 + 0 + \text{Summ}) \\ \text{break} \end{cases}$$

$$VRO2(V_0, H2S, CO, CO2, y) = 0.997$$

Для паров воды

$$\text{Sum} := \left(\frac{N_0}{2} \cdot CH_0\right) + \left(\frac{N_1}{2} \cdot CH_1\right) + \left(\frac{N_2}{2} \cdot CH_2\right) + \left(\frac{N_3}{2} \cdot CH_3\right) = 198.48$$

$$VH2O(V_0, H2S, CO, CO2, H2, y) := \begin{cases} y \leftarrow 0.01 \cdot (H2 + \text{Sum}) \\ \text{break} \end{cases}$$

$$VH2O(V_0, H2S, CO, CO2, H2, y) = 1.985$$

Для кислорода

$$VO2(V_0, a, y) := \begin{cases} y \leftarrow 0.21 \cdot (a - 1) \cdot V_0 \\ \text{break} \end{cases}$$

$$VO2(V_0, a, y) = 0.399$$

Рис. 4. Реализация блоков расчета объемного состава компонентов продуктов сгорания

При расчете полного относительного объема и объемных долей, решение уравнений интегрируется напрямую в матрицу, ближайшее отображение соответствует рассчитанным значениям, по аналогии с объемными долями, рассчитываются массовые доли, в расчет включается дополнительная матрица с приведением молярной массы каждого компонента (рис. 5-6).

**Полный относительный объем**

$$L_{\text{sum}} := VO2(V_0, a, y) + VH2O(V_0, H2S, CO, CO2, H2, y) + VRO2(V_0, H2S, CO, CO2, y) + VN2(V_0, N2, a, y)$$

L = 12.404

**Объемные доли**

$$R_{\text{vol}} := \begin{bmatrix} \frac{VO2(V_0, a, y)}{L} \\ \frac{VH2O(V_0, H2S, CO, CO2, H2, y)}{L} \\ \frac{VRO2(V_0, H2S, CO, CO2, y)}{L} \\ \frac{VN2(V_0, N2, a, y)}{L} \end{bmatrix} \quad R = \begin{pmatrix} 0.032 \\ 0.16 \\ 0.08 \\ 0.727 \end{pmatrix}$$

**Массовые доли**

$$M_{N2} := 28 \quad M_{\text{вода}} := 18 \quad M_{RO2} := 44 \quad M_{O2} := 32$$

$n := \text{dim}(M) - 1 = 3$

$$M_{\text{sum}} := M_{N2} \cdot R_3 + M_{\text{вода}} \cdot R_1 + M_{RO2} \cdot R_2 + M_{O2} \cdot R_0 = 27.814$$

$$W_{\text{mass}} := \begin{bmatrix} \frac{M_{O2} \cdot R_0}{M_{\text{sum}}} \\ \frac{M_{\text{вода}} \cdot R_1}{M_{\text{sum}}} \\ \frac{M_{RO2} \cdot R_2}{M_{\text{sum}}} \\ \frac{M_{N2} \cdot R_3}{M_{\text{sum}}} \end{bmatrix} \quad W_{\text{mass}} = \begin{pmatrix} 0.037 \\ 0.104 \\ 0.127 \\ 0.732 \end{pmatrix} \quad M := \begin{pmatrix} 32 \\ 18 \\ 44 \\ 28 \end{pmatrix}$$

$n := 0 \quad k := 0 \quad i := 0 \quad j := 0$

Рис. 5. Расчет теоретического количества воздуха необходимого для полного сгорания газообразного топлива

Заключительный блок проверяет равенство массовых и объемных долей топлива, одновременно, сравнивая с логической единицей как с элементом целостности множеств объемных и массовых долей (рис. 6).

```

Proverka(R, Wmass, n, k, i, j) :=
n ← Wmass0 + Wmass1 + Wmass2 + Wmass3
k ← R0 + R1 + R2 + R3
"верно" if n = k = 1
"неверно" otherwise
break

Proverka(R, Wmass, n, k, i, j) = "верно"

```

Рис. 6. Расчет теоретического количества воздуха необходимого для полного сгорания газообразного топлива

### Заключение

Полученный алгоритм может дополняться, в перспективе возможно ввести блок на проверку количества заданных переменных с целью вывода исходной для последующих расчетов матрицы компонентов. Также полученный программный шаблон возможно переписывать и под другие виды топлива, охватив больший производственный сектор.

### Список использованных источников

1. Цанев С.В. Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Под ред. С.В. Цанева- М. : Издательство МЭИ, 2002. – 584 с.
2. Коруев Е.Р., Sadkin I.S., Shadrin E.Yu., Mukhina M.A., Kuznetsov V.A., Minakov A.V. Combustion of liquid hydrocarbon fuels sprayed into gas generation chamber with superheated steam as low emission technology for energy production // Fuel. – 2025. – Vol. 381 (A). – P. 133344. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.133344>.

# К ВОПРОСАМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ И ОГРАНИЧЕНИЙ

*Безбатченко А.А.<sup>1</sup>, Ситдиков Д.С.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного» МО РФ, г. Санкт-Петербург, РФ, старший оператор роты (научной),  
abzbatchenko@list.ru*

## **Введение**

В последние годы технология блокчейн привлекла значительное внимание в различных отраслях, включая электроэнергетику. Она представляет собой децентрализованную базу данных, обеспечивающую высокий уровень безопасности и прозрачности транзакций без необходимости в центральном управляющем органе. В условиях экономических санкций и ограничений, с которыми столкнулась Российская Федерация, развитие и внедрение инновационных технологий в электроэнергетику становится важной задачей для обеспечения энергетической независимости и безопасности страны.

В данной статье будет рассмотрено, каким образом блокчейн может способствовать развитию российской электроэнергетики в условиях санкций, а также какие возможности и вызовы могут возникнуть при его внедрении.

## **Преимущества использования блокчейн в электроэнергетике**

Технология блокчейн (рис. 1) предлагает ряд преимуществ, которые могут быть полезны для энергетической отрасли, включая:

1. **Прозрачность и контроль.** Блокчейн обеспечивает возможность отслеживания всех этапов производства, распределения и потребления энергии. Это повышает уровень прозрачности, уменьшает вероятность мошенничества и позволяет оптимизировать управление энергетическими ресурсами.

2. **Децентрализация управления.** В электроэнергетике блокчейн может применяться для децентрализованных сетей распределения электроэнергии, где участники могут взаимодействовать напрямую, минуя посредников. Это особенно важно для регионов с удаленными населенными пунктами, где централизованные источники энергии могут быть менее надежными. Децентрализованная структура на основе блокчейна может помочь улучшить стабильность энергоснабжения и уменьшить издержки, связанные с передачей энергии на большие расстояния.

3. **Смарт-контракты.** Одной из ключевых особенностей блокчейна является возможность использования смарт-контрактов — автоматизированных соглашений, которые исполняются при выполнении определенных условий. В электроэнергетике смарт-контракты могут быть использованы для автоматизации сделок по продаже и покупке электроэнергии, управления тарифами и балансировкой спроса и предложения в реальном времени. Это особенно актуально в условиях нестабильных экономических условий, связанных с санкциями.

4. **Умные сети (Smart Grids).** Технология блокчейн может быть интегрирована в системы умных сетей для оптимизации распределения энергии между производителями и потребителями. Это способствует более эффективному использованию ресурсов и снижению потерь в сети. В условиях санкций и экономических ограничений такой подход позволяет минимизировать внешние воздействия на критическую инфраструктуру.

5. **Учет и отслеживание углеродных выбросов.** Блокчейн позволяет точно отслеживать углеродный след в цепочке производства и потребления электроэнергии, что может быть полезным для соблюдения экологических стандартов и международных обязательств по снижению выбросов парниковых газов. Это также дает России возможность развития в рамках глобальных "зеленых" инициатив, несмотря на внешние санкционные меры.

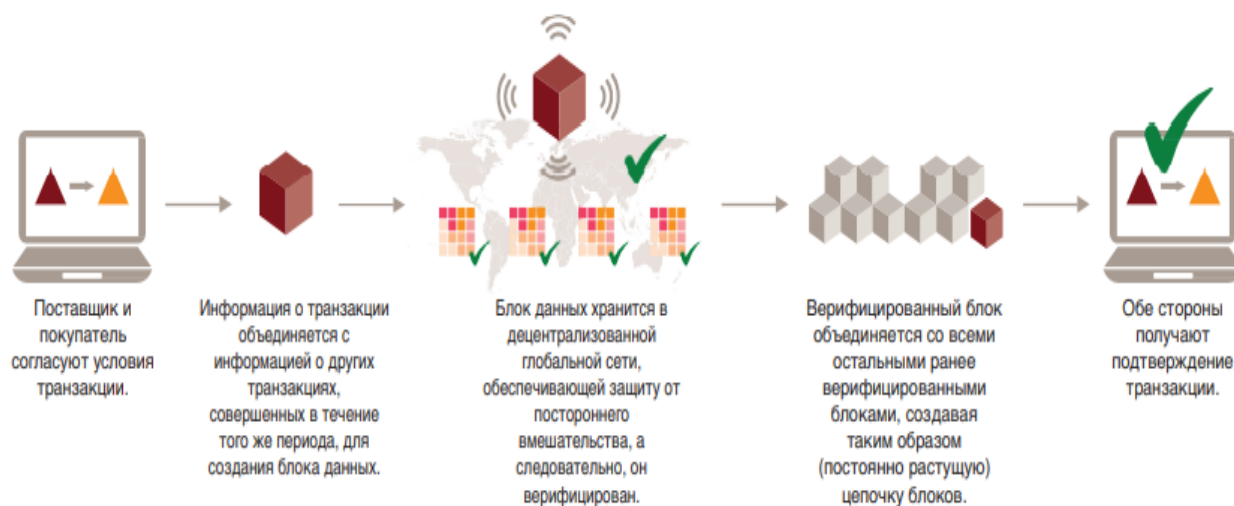


Рис. 1. Процесс работы «блокчейна»

### Применение блокчейн в условиях санкций

Экономические санкции, наложенные на Российскую Федерацию, затрудняют доступ к передовым технологиям, компонентам и зарубежным инвестициям. В таких условиях блокчейн становится особенно ценным инструментом для поддержания и развития внутренней энергетической инфраструктуры. В условиях санкционного давления возникают следующие ключевые вопросы:

1. Импортозамещение технологий. Одной из ключевых задач в условиях санкций является развитие отечественных технологий, которые могли бы заменить импортные решения.

Это касается как аппаратного обеспечения (в частности, устройств для интеллектуальных сетей), так и программных решений для управления энергетическими системами. Блокчейн, как технология, не зависящая от определённых иностранных разработок, может стать основой для создания новых решений в области управления электроэнергией и распределением.

2. Финансовая независимость. Санкции ограничили доступ российских энергетических компаний к международным финансовым системам и инвестициям. Технология блокчейн может быть использована для создания новых платформ для финансовых транзакций и инвестиций, включая токенизацию активов в энергетическом секторе. Использование блокчейн-решений в финансовом секторе также снижает зависимость от зарубежных банковских структур.

3. Кибербезопасность. Одним из вызовов, который сопровождает санкции, является повышенная угроза кибератак на российскую энергетическую инфраструктуру. Блокчейн обладает высокой степенью защищенности от взломов благодаря децентрализованной структуре и криптографическим методам. Это делает его перспективным инструментом для обеспечения безопасности данных и операций в энергетическом секторе.

4. Развитие распределенных энергетических систем. Санкции ограничивают возможность модернизации централизованных энергетических объектов с использованием импортного оборудования и технологий. Это подталкивает к активному развитию распределенных энергетических систем, где использование блокчейна может быть особенно эффективно для управления и координации работы таких систем.

### Возможности интеграции блокчейн с возобновляемыми источниками энергии

Одной из ключевых тенденций в мировой энергетике является переход на возобновляемые источники энергии (ВИЭ), такие как солнечная и ветряная энергия. В России данный сектор также развивается, хотя и не такими быстрыми темпами, как в других странах. Технология блокчейн может сыграть важную роль в интеграции ВИЭ в энергосистему страны. В частности, блокчейн может использоваться для управления распределением энергии, произведенной малыми и средними генераторами, что характерно для объектов ВИЭ.

Торговля излишками энергии. В блокчейн-сетях можно организовать платформы для торговли излишками энергии между производителями и потребителями. Например, домашние хозяйства, использующие солнечные панели, могут продавать избыточную электроэнергию другим участникам сети

через смарт-контракты. Это позволит более эффективно использовать доступные ресурсы и минимизировать потери энергии при транспортировке.

Повышение прозрачности и доверия. Платформы на основе блокчейн позволят конечным потребителям и инвесторам точно отслеживать происхождение электроэнергии, удостовериться, что она была получена из возобновляемых источников, и контролировать цепочку создания добавленной стоимости. Это создаст условия для активного развития "зеленой" энергетики в России, даже в условиях санкционного давления.

### **Международное сотрудничество и технологический обмен**

Несмотря на текущие санкции, Россия продолжает оставаться частью мировой энергетической системы, и вопрос взаимодействия с другими странами в области инновационных технологий, таких как блокчейн, остается актуальным. Санкции ограничивают прямой доступ к ряду технологий и международным партнерствам, но они также открывают возможности для нового формата сотрудничества и обмена опытом в технологических областях, связанных с энергетикой.

Сотрудничество с дружественными странами. Россия может развивать сотрудничество с партнерами, не поддерживающими санкционную политику, такими как Китай, Индия и другие страны БРИКС. Эти страны также активно развивают блокчейн-решения в энергетике, что открывает возможности для обмена опытом и совместной работы над проектами в области распределенных энергетических систем.

Развитие отечественных инноваций. Санкции стимулируют развитие внутреннего рынка и ускоряют внедрение отечественных инноваций. Это включает создание блокчейн-платформ, которые могли бы быть адаптированы к специфике российской энергетической инфраструктуры и законодательства. В частности, существуют перспективы по развитию национальных проектов в области умных сетей и управления энергетическими ресурсами с использованием блокчейн-технологий.

В условиях глобальных изменений и санкционного давления международное сотрудничество, особенно с быстро развивающимися странами, и развитие отечественных решений в области блокчейна могут сыграть ключевую роль в укреплении энергетической независимости России.

### **Вызовы и препятствия на пути внедрения блокчейн**

Несмотря на очевидные преимущества технологии блокчейн, ее внедрение в российскую электроэнергетику сталкивается с рядом вызовов:

1. Недостаток квалифицированных специалистов. Развитие блокчейн-решений требует наличия высококвалифицированных специалистов в области программирования, криптографии и энергетики. В условиях санкций этот фактор становится особенно острым, поскольку доступ к передовым мировым образовательным программам и обмену опытом ограничен.

2. Регуляторные барьеры. Несмотря на то, что правительство России проявляет интерес к технологиям блокчейн, до сих пор не разработаны четкие правовые нормы и стандарты для его применения в энергетической отрасли. Отсутствие регулирующей базы создает неопределенность для компаний и инвесторов, желающих внедрять блокчейн-решения.

3. Инфраструктурные ограничения. Для внедрения блокчейна требуется модернизация существующей энергетической инфраструктуры, что может оказаться затратным и трудоемким процессом. В условиях санкций и экономических ограничений этот процесс может затянуться.

### **Заключение**

Использование технологии блокчейн в электроэнергетике России представляет собой значительный потенциал для преодоления вызовов, связанных с санкциями и экономическими ограничениями. Блокчейн может способствовать развитию децентрализованных систем управления энергией, повысить прозрачность операций, автоматизировать процессы с использованием смарт-контрактов и обеспечить защиту от киберугроз. Однако для успешного внедрения блокчейна необходимо решение ряда проблем, включая разработку правовой базы, подготовку специалистов и модернизацию инфраструктуры.

В условиях санкционного давления и ограниченного доступа к международным технологиям и инвестициям, блокчейн может стать одним из ключевых инструментов для обеспечения энергетической безопасности и независимости России, что делает его важной темой для дальнейших исследований и внедрения в энергетическую отрасль.

### **Список использованных источников**

1. Ливинский П.А. Годовой отчёт 2019 / П.А. Ливинский. – Текст: электронный // ПАО «Россети»: [сайт]. – URL: [http://www.rustocks.com/put.phtml/MRKH\\_2019\\_RUS.pdf](http://www.rustocks.com/put.phtml/MRKH_2019_RUS.pdf) (дата обращения: 10.10.2024)
2. Концепция цифровая трансформация 2030. – Текст: электронный // ПАО «Россети»: [сайт]. – URL: [https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya\\_Tsifrovaya\\_transformatsiya\\_2030.pdf](https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf) (дата обращения: 10.10.2024)
3. Нестеров Д. Децентрализованная электроэнергетика: чем поможет блокчейн? / Д. Нестеров. – Текст: электронный // BitNovosti: [сайт]. – URL: <https://bitnovosti.com/2017/04/24/power-on-blokchain/> (дата обращения: 10.10.2024)
4. Блокчейн в электроэнергетике: ландшафт проектов и инвесторов / Юсуфов Руслан. – Текст: электронный // Skolkovo: [сайт]. – URL: <https://www.skolkovo.ru/researches/blokchejn-v-elektroenergetike-landshaft-proektov-i-investorov/> (дата обращения: 10.10.2024)

## **Секция 2. Цифровое моделирование технических объектов и систем**



# ИНТЕГРАЛЬНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В СОСТАВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРОЕКТНОГО НАПРАВЛЕНИЯ «ПРОРЫВ»

Павлова И.В.<sup>1</sup>, Кириенко С.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО «Прорыв», инженер-программист 3 категории, e-mail: pavlovaiv@pnproryv.ru

<sup>2</sup> АО «Прорыв», начальник отдела математического моделирования и цифровизации, e-mail: kso@pnproryv.ru

## Введение

Современным подходом в решении задач, связанных с разработкой таких сложных технических объектов как АЭС, включает в себя создание цифровых двойников (ЦД) разрабатываемых объектов. ЦД на разных этапах разработки проекта может использоваться как средство для оптимизации проектных, конструкторских и технологических решений, для сопровождения эксплуатации, а после – для вывода из эксплуатации объекта. Одной из неотъемлемых составляющих ЦД ПН «Прорыв» являются интегральные расчетные математические модели (ИРММ). ИРММ являются основным видом расчетного представления объекта в составе ЦД ПН «Прорыв» [1].

В настоящем докладе приведено описание ИРММ ПН «Прорыв», их состав, функции и применение.

## Состав интегральных расчетных математических моделей ПН «Прорыв»

ИРММ предназначены для динамического моделирования работы объектов в номинальном и отдельных переходных и аварийных режимах эксплуатации.

В ИРММ ПН «Прорыв» входят следующие частные математические модели:

– связанная теплогидравлическая и нейтронно-физическая модель 1-го контура энергоблока, созданная с помощью динамического интегрального универсального расчетного кода ЕВКЛИД авторства ИБРАЭ РАН [2];

– модель автоматики 1-го контура, разрабатываемая комплексно, в том числе с использованием программных комплексов разработки АО «НИКИЭТ» – КРОСС и СОИФА. САПР для разработки моделей алгоритмов – ПК SimInTech [3] (фрагмент панели автоматики 1-го контура энергоблока с реакторной установкой (РУ) со свинцовым теплоносителем электрической мощностью 1200 МВт представлен на рис. 1);

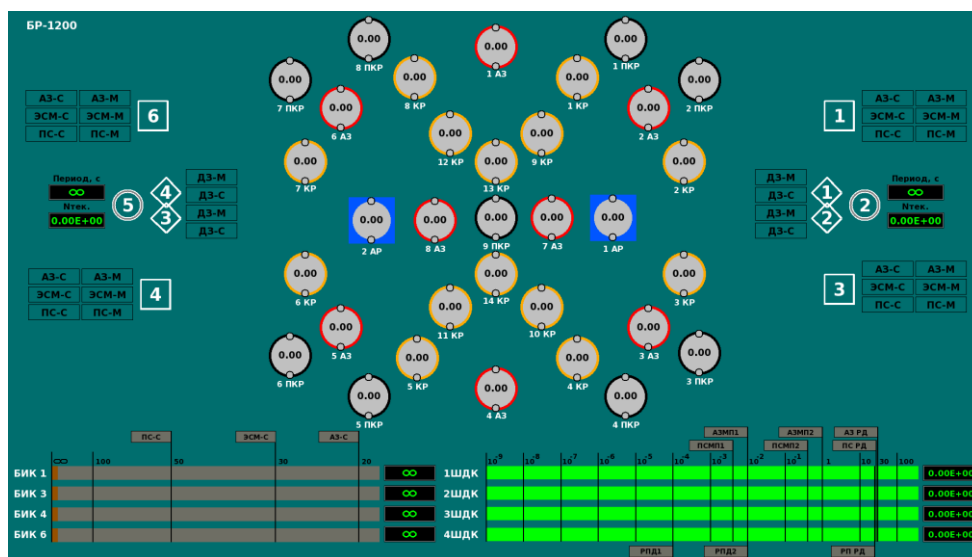


Рис. 1. Фрагмент панели автоматики 1-го контура энергоблока с РУ БР-1200

– модель паротурбинной установки (ПТУ) и систем 2-го контура энергоблока, разрабатываемая в графической среде программного комплекса SimInTech (структурная схема субмодели «Основной конденсат» из состава модели ПТУ и систем 2-го контура представлена на рис. 2);

– модель электрических систем энергоблока, также разрабатываемая в графической среде программного комплекса SimInTech;

- система визуализации и управления ИРММ;
- программный комплекс для моделирования действий персонала и выполнения функционального анализа.

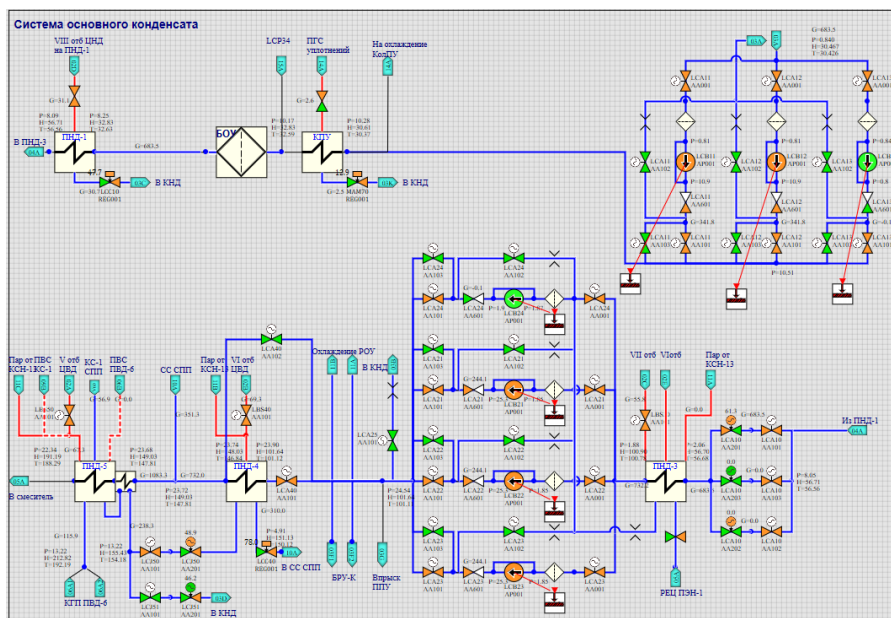


Рис. 2. Структурная схема субмодели «Основной конденсат»

Кроме того, для сохранения связей между расчетными случаями и исходными данными (версиями частных математических моделей) с целью обеспечения возможности воспроизведения расчетов, а также для навигации и просмотра расчетных данных ИРММ интегрируются с системой управления данными и процессами расчётных и экспериментальных научных исследований «УРАНИЯ» [4], построенной на базе цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench [5-7].

### Функции интегральных математических моделей ПН «Прорыв»

Поскольку ИРММ состоит из ранее разработанных и применяемых в ПН «Прорыв» частных математических моделей и кодов, одной из задач, решаемых с помощью ИРММ, является тестирование частных математических моделей комплексно, в связке с остальными частями ИРММ, и уточнить расчетные схемы РУ в моделях, реализованных в кодах, используемых для обоснования безопасности.

Еще одна немаловажная функция ИРММ: расчеты переходных режимов на ИРММ и контроль их протекания в соответствии со сценариями режимов, разработанных совместно с заинтересованными участниками проектного направления, позволяют оценить функционирование связанного в единый цикл оборудования объекта и обеспечить возможность выявления коллизий по технологическим параметрам, а также контроль полноты и непротиворечивости исходных данных проекта.

### Применение интегральных математических моделей ПН «Прорыв»

В ПН «Прорыв» реализованы ИРММ энергоблоков с РУ со свинцовым теплоносителем электрической мощностью 300 МВт и 1200 МВт. Поскольку эти энергоблоки являются инновационными, особенно важно иметь возможность апробации принимаемых проектных и конструкторских решений на каждом этапе разработки объекта.

Так, для находящегося на стадии технического проекта энергоблока с РУ со свинцовым теплоносителем электрической мощностью 1200 МВт, по результатам расчетов переходных режимов эксплуатации в 2023 г. алгоритмы управления РУ были скорректированы в соответствии с предложениями по включению первопричин срабатывания режима быстрого управляемого снижения мощности (БУСМ): по отключению 2-х и 4-х питательных электронасосов (ПЭН) [8]. Соответствующее решение было принято по результатам моделирования режимов с отключением ПЭН без срабатывания автоматического ввода резерва (АВР) на номинальном уровне мощности: после отключения ПЭН мощность

РУ снижалась для достижения состояния, при котором активная мощность оставшихся в работе ПЭН соответствовала номинальной.

В свою очередь, ИРММ энергоблока с РУ со свинцовым теплоносителем электрической мощностью 300 МВт на данном этапе разработки внедряется в процесс обучения оперативного персонала и как техническое средство обучения в программы курсов опорных ВУЗов ГК «Росатом» для ознакомления с особенностями технологии блока со свинцовым теплоносителем.

### **Заключение**

В настоящем докладе были рассмотрены ИРММ ПН «Прорыв», которые находят применение как для апробации проектных решений, так и в качестве технического средства обучения, что снижает риски задержки ввода объектов ПН в эксплуатацию вследствие необходимости устранения коллизий на этапе пусконаладочных работ или вследствие задержек в подготовке и лицензировании персонала.

### **Список использованных источников**

1. Федоровский А.Ю. Цифровые двойники ядерного энергокомплекса / А.Ю. Федоровский, С.О. Кириенко, А.А. Сиполс // Атомная энергия. – 2024. – Т. 136, № 1–2. – С. 36–40. – EDN AFQOCJ.

2. Мосунова Н.А. Интегральный код ЕВКЛИД/V1 для обоснования безопасности реакторных установок на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем. Часть 1: Базовые модели // Теплоэнергетика, 2018. – №5. – С.69–84 (перевод: Mosunova N.A. The EUCLID/V1 Integrated Code for Safety Assessment of Liquid Metal Cooled Fast Reactors. Part 1: Basic Models // Thermal Engineering. – 2018. – Vol. 65, No. 5. – P. 304–316 <https://doi.org/10.1134/S0040601518050063>).

3. Баум Ф.И., Козлов О.С., Паршиков И.А., Петухов В.Н., Тимофеев К.А., Щекатуров А.М. Программное обеспечение SimInTech для программирования приборов систем управления // Атомная энергия. – 2012. – № 6.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024610450 Российская Федерация. Система управления данными и процессами расчётных и экспериментальных научных исследований "УРАНИЯ". Релиз 3.0.1: № 2023689306: заявл. 25.12.2023: опублик. 10.01.2024 / Р.А. Бондарь, Р.Х. Даутов, С.В. Закамсков [и др.] ; заявитель Российская Федерация, от имени которой выступает Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». – EDN MBQJAJ.

5. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников (Digital Twins) CML-Bench® (часть 1) / А. Боровков, В. Бураков, Е. Мартынец [и др.] // САПР и графика. – 2023. – № 8 (324). – С. 42–51. – EDN ATADHS.

6. Боровков А. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников (Digital Twins) CML-Bench® (часть 2) / А. Боровков, В. Бураков // САПР и графика. – 2023. – № 9 (325). – С. 54–64. – EDN HIECKJ.

7. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников (Digital Twins) CML-Bench® (часть 3) / А. Боровков, И. Мартынов, И. Шандер [и др.] // САПР и графика. – 2023. – № 10 (326). – С. 50–62. – EDN FDGLTG.

8. АО «НИКИЭТ». Отчет БРЕСТ-КМ-От-5446. Разработка усовершенствованных алгоритмов и их отработка на комплексной модели. Инв. № 421-168-15657. – М., 2023.

## РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ПРОЕКТНОМ НАПРАВЛЕНИИ «ПРОРЫВ»

Терина М.Д.<sup>1</sup>, Сиполс А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО «Прорыв», инженер-программист 3 категории, e-mail: madterina@rosatom.ru

<sup>2</sup> АО «Прорыв», руководитель направления по цифровизации, e-mail: sipaa@pnproryv.ru

### Введение

Такие цифровые инструменты, как большие данные (Big Data), машинное зрение и облачные сервисы, позволяют значительно повысить производительность и качество продукции в различных областях промышленности [1].

Одним из перспективных направлений цифровизации является создание цифровых двойников (digital twin). В настоящем докладе рассматриваются особенности цифровых двойников проектного направления «Прорыв», их состав и основные особенности, а также результаты внедрения.

### Основная часть

Вопрос о происхождении термина «цифровой двойник» (ЦД) остается открытым. Согласно одной из версий, его ввел в оборот Майкл Гривз еще в 2002 году в контексте управления жизненным циклом объектов. Однако более широкое признание этот термин получил лишь в 2010 году после публикации отчета NASA. В этом документе цифровой двойник был представлен как высокодетализированная виртуальная копия космического аппарата, способная моделировать все этапы его жизненного цикла.

Идея создания виртуальных копий физических объектов существовала задолго до появления самого термина. Термин «цифровой двойник» лишь обобщил и систематизировал уже существующие концепции. В разных отраслях и научных сообществах термин мог использоваться независимо друг от друга, что привело к некоторой разрозненности в его трактовке.

В проектном направлении (ПН) «Прорыв» цифровой двойник имеет собственное определение. Цифровой двойник в понимании ПН «Прорыв» — это построенный в цифровом пространстве объект с набором баз данных, моделей, инструментов 3D-визуализации, программных продуктов и получаемых в онлайн-режиме данных, позволяющих моделировать работу и обслуживание реального объекта как в нормальных условиях эксплуатации, так и при отклонении от них, включая проектные и запроектные аварии [2]. ЦД служит для оптимизации проектных, конструкторских, технологических решений, создания тренажеров, сопровождения эксплуатации и вывода из эксплуатации.

Визуально представить определение цифрового двойника в ПН «Прорыв» можно следующим образом (рис. 1):

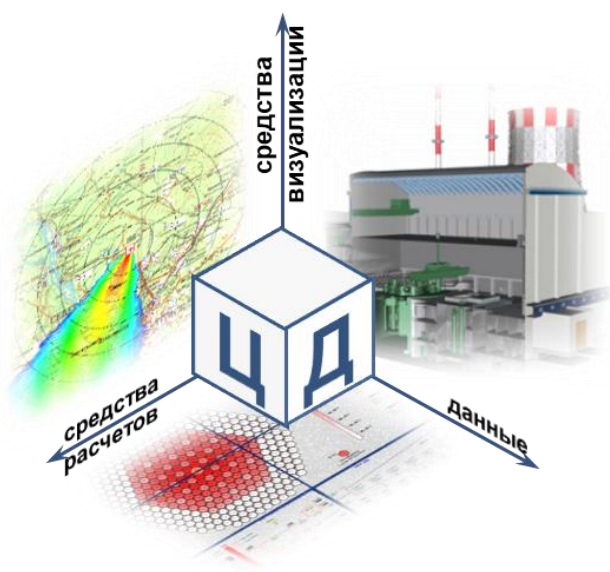


Рис. 1. Цифровой двойник в понимании ПН «Прорыв»

Существует несколько ключевых черт цифрового двойника:

- мультидисциплинарность представлений,
- охват всего жизненного цикла объекта-близнеца,
- ориентация на прикладной результат,
- учет и анализ требований,
- интеграция с объектом-прототипом.

Цифровой двойник необходимо начинать формировать на максимально ранней стадии разработки, чтобы обеспечивать опережающий всесторонний анализ объекта в различных виртуальных представлениях. Для проектов с большой долей НИР и НИОКР необходим не только цифровой двойник будущего объекта, но и доступность в цифровой среде результатов всех НИР и НИОКР, баз верифицированных данных, а также изначальная организация их выполнения с использованием соответствующих цифровых решений. Для проектов с большим числом организаций-участников, часть из которых могут быть не отраслевыми, необходимо предусматривать гибкие возможности по участию в разработке и использованию цифровых двойников [3].

Цифровой двойник в ПН «Прорыв» формируется в составе интегрирующего проекта, который представляет собой совокупность электронных данных и документов проектного направления «Прорыв», содержащую актуальную проектную, конструкторскую и технологическую документацию объекта, а также расширенные возможности контроля данных для моделирования всех этапов жизненного цикла объекта с целью своевременного (в том числе, опережающего на этапе создания) анализа характеристик объекта и технологических процессов и их последующей оптимизации.

Можно сказать, что ЦД ПН «Прорыв» и есть интегрирующий проект, но дополненный различными моделями. В состав цифрового двойника входят:

- данные из ИМ (включая ПД, РД, отчеты о НИР, БД и т.д.),
- 3D-модели,
- 4D-модели процессов,
- расчетные модели,
- требования.

Основные результаты, полученные в рамках разработки интегрирующих проектов в ПН «Прорыв», следующие:

- снижены строительные объемы модуля фабрикация-рефабрикация топлива с 230 до 130 тыс. м<sup>3</sup>;
- снижены строительные объемы здания реактора энергоблока с реакторной установкой БРЕСТ-ОД-300 с 430 до 353 тыс. м<sup>3</sup>;
- расчетно подтверждена принципиальная возможность пуска и эксплуатации энергоблока с реакторной установкой БРЕСТ-ОД-300 в текущей конфигурации оборудования (смоделировано более 60 режимов работы блока);
- найдены пути увеличения производительности модуля фабрикация-рефабрикация с 14,7 до 21,6 т/год;
- уменьшена численность эксплуатирующего персонала стенда ГЦНА с 45 до 21 штатной единицы;
- выявлено более 9500 пространственных коллизий в проектах.

Для иллюстрации экономических результатов следует обратить внимание на то, что опережающее стройку и пуско-наладочные работы моделирование совместной работы связанного в единый производственный цикл оборудования будущих объектов с учетом максимального числа интерфейсов позволяет выявлять возможные коллизии по технологическим параметрам на ранних этапах проектирования, когда их устранение наименее затратно. Например, выявление коллизий в работе автоматики энергоблока способствует предотвращению снижения коэффициента использования установленной мощности относительно планового. А использование электронных процедур управления в рамках поддержки эксплуатации снижает трудозатраты на разработку эксплуатационной документации объектов проектного направления, и, кроме того, снижает риски, связанные с некорректными действиями персонала при эксплуатации.

## **Заключение**

Заметные результаты, полученные при разработке цифровых двойников в проектом направлении «Прорыв», будут использованы для достижения цели по сокращению капитальных и операционных затрат [4], а также сроков сооружения объектов на 10 % от лучших мировых практик. Цифровой двойник является именно той технологией, которая обеспечит достижение данных целей в комплексе с другими решениями по существенному улучшению экономических показателей объектов Росатома.

## **Список использованных источников**

1. Горшков К. В., Лысенко Е. В. Формирование единого информационного пространства предприятия как инструмента повышения его конкурентоспособности, Управление металлургическим предприятием, 2022, с. 1003-1007.
2. Федоровский, А. Ю.; Кириенко, С. О.; Сиполс, А. А.. цифровые двойники ядерных энергокомплексов. Атомная энергия, [S.l.], v. 136, n. 1-2, p. 36-40, июня 2024. ISSN 0004-7163.
3. Белая книга ядерной энергетики. Замкнутый ЯТЦ с быстрыми реакторами / под общ. ред. проф. Е.О. Адамова. – М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2020. – 496 с.
4. Единая цифровая стратегия 2023-2030 // Цифровые решения «Росатом»: [сайт].– URL:<https://digitalrosatom.ru/file/ecs.pdf>

## ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ СИСТЕМ

*Кожневников М.М.<sup>1</sup>, Чумаков О.А.<sup>2</sup>, Ганак О.Б.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, механический факультет, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов и производств, e-mail: kmmk@mail.ru*

<sup>2</sup> *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, факультет информационных технологий и управления, доцент кафедры систем управления, e-mail: olegchumakov@bsuir.by*

<sup>3</sup> *Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, механический факультет, аспирант, e-mail: ganak@mail.ru*

### **Введение**

Важным направлением повышения эффективности в машиностроительном производстве является широкое внедрение роботизированных сборочно-сварочных систем. В отличие от традиционных подходов к автоматизации технологических процессов сборки и сварки роботизированные системы высокую степень гибкости при достаточно частом изменении номенклатуры сварных конструкций и сварочного инструмента. При этом технологии сварки этих конструкций различаются между собой пространственным расположением сварных швов, последовательностью их наложения, направлением сварки и местами фиксации конструкций [1, 2].

Создание цифровых моделей роботизированных сборочно-сварочных систем является важным направлением исследований в области разработки систем автоматизированного проектирования. Процесс создания таких моделей включает в себя цифровое моделирование целого ряда элементов образующих сборочно-сварочную систему. В состав таких элементов входят сварочные роботы, горелки, сварочная оснастка, манипуляторы сварных конструкций, различное периферийное оборудование, а также модели устройств управления роботами. После того как перечисленные модели созданы необходимо объединить их в соответствии с некоторым компоновочным решением сборочно-сварочной системы. Важно отметить, что подобное компоновочное решение не является единственным и перед разработчиком цифровой модели сборочно-сварочной системы встает задача выбора некоторого рационального решения. При этом наиболее сложной задачей является выбор взаимного размещения робота и сварной конструкции с учетом их возможных столкновений, а также достижимости и доступности сварных швов для технологического инструмента [3, 4]. Также в процессе цифрового моделирования роботизированных сборочно-сварочных систем решаются задачи подбора сварочной горелки подходящей для заданной последовательности сварных швов, обучение робота-манипулятора движениям вдоль сварных швов и автономное программирование робота с графическим моделированием его движений. Решение всех перечисленных задач предполагает цифровое трёхмерное моделирование как элементов роботизированной сборочно-сварочной системы, так и моделирование движений роботов-манипуляторов и сварных конструкций. Движения робота-манипулятора и манипулятора сварной конструкции моделируются в соответствии с технологической программой и их кинематическими и динамическими моделями.

Как показывает анализ ряда публикаций по данному направлению [2, 3] компоновочные решения, применяемые в роботизированных сборочно-сварочных системах, как правило базируются на некоторых уже реализованных ранее типовых инженерных решениях, либо на достаточно упрощенных критериях оценки качества компоновки. Поэтому задача разработки методов цифрового моделирования роботизированных сборочно-сварочных систем позволяющих реализовать рациональное компоновочное решение является актуальной научной задачей [4–6].

Целью данной работы является разработка метода построения цифровой модели роботизированной сборочно-сварочной системы, позволяющего выбрать рациональное компоновочное решение на основе анализа столкновений между роботом и сварной конструкцией и анализа достижимости и доступности зон сварки для сварочной горелки. Этот метод основан на построении цифровых моделей отдельных компонентов сборочно-сварочной системы с последующим их сохранением в базе данных. Далее из этих моделей формируется цифровая модель компоновочного решения сборочно-сварочной



системы по заданному критерию качества. Предложенный метод построения цифровой модели сборочно-сварочной системы интегрирован в состав программного пакета для решения задач автоматизированного проектирования роботизированных систем.

### Описание метода

При создании цифровой модели сварной конструкции (рис. 1) с использованием средств компьютерного моделирования первоначально создается трехмерный образ, который содержит также информацию о сварных соединениях (стыковые, нахлесточные, торцевые, угловые, тавровые), разновидностях сварных швов (дуговые либо линейные), о расположении точек начала и конца сварного шва, о расположении завариваемых зон для случая прерывистых швов. Учитывается также порядок, в котором наносятся прихватки и вспомогательные швы и месторасположение точек, в которых закреплена сварная конструкция.

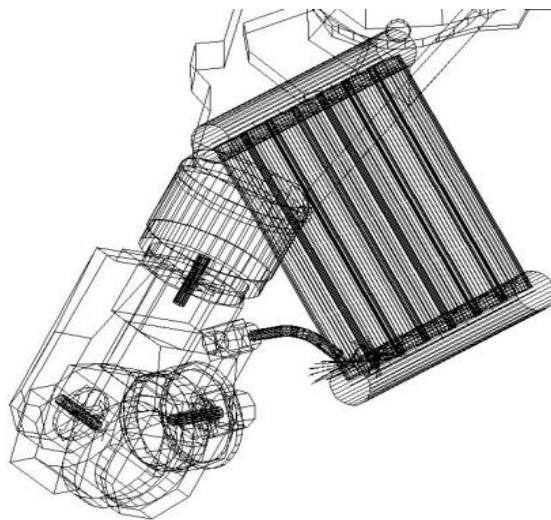


Рис. 1. Модель сварной конструкции и инструмента

Важным средством цифрового моделирования сборочно-сварочных систем является база роботов-манипуляторов. Имеется возможность добавлять в эту базу модели роботов и осуществлять редактирование созданных ранее моделей. Такие модели представляют собой сборки, элементами которых являются основание и звенья робота (рис. 2). Звенья робота соединяются в разомкнутые кинематические цепи посредством специальной процедуры, которая также создает файлы с данными используемыми программой моделирования.

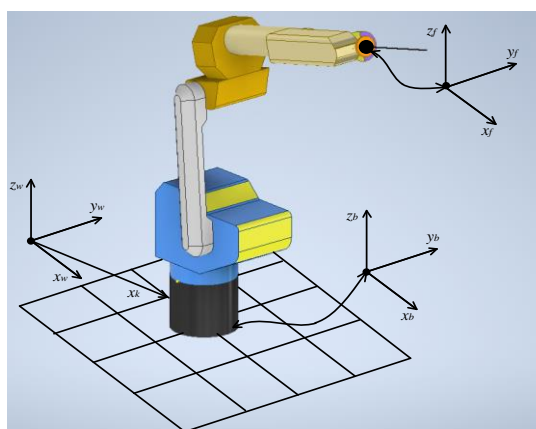


Рис. 2. Модель сварочного робота-манипулятора

Цифровая модель роботизированной сборочно-сварочной системы (рис. 3) формируется на основе элементов базы данных и включает в себя модели сварных конструкций, промышленных роботов, сварочных инструментов, а также различные дополнительные элементы окружения, например, конструкции для подвешивания роботов, средства для проведения чистки сопла сварочной горелки. На



первом этапе моделирования разработанная программная процедура осуществляет последовательное включение всех элементов роботизированной сборочно-сварочной системы в состав цифровой модели.

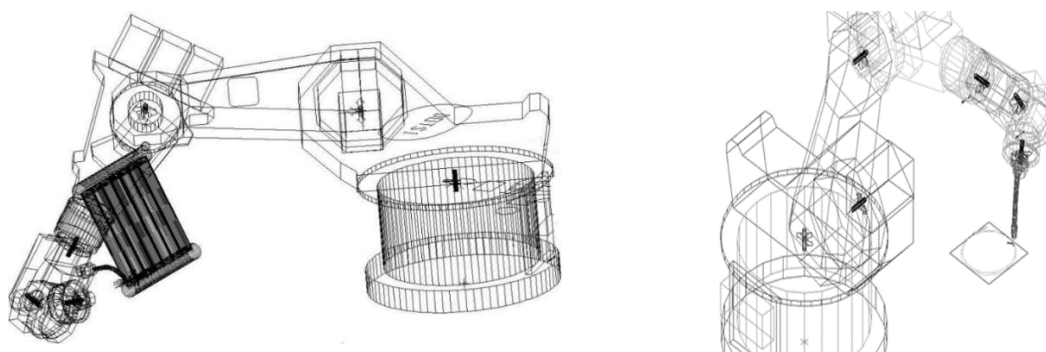


Рис. 3. Модели сборочно-сварочных систем

Цифровое моделирование роботизированной сборочно-сварочной системы включает в себя следующие процедуры, позволяющие оценить качество компоновочного решения:

1. Процедуры проверки доступны ли все заданные группы сварных швов для сварочной горелки при различных положениях сварной конструкции;
2. Процедуры проверки доступности и достижимости сварных швов роботами в комплекте со сварочными горелками;
3. Процедуры поиска рациональных траекторий движения роботов-манипуляторов при выполнении сварочных операций;
4. Процедуры, реализующие формирование управляющих программ робота-манипулятора в автономном режиме.

Некоторая траектория движения сварочной горелки представляет собой множество векторов  $\{p_i \in \mathbf{R}^3\}$ ,  $i=1 \dots N$ , которые представляют собой координаты точек, через которые проходит горелка при выполнении сварочных операций. Соответственно ось вращения сварочной горелки описывается единичным вектором  $n_i \in \mathbf{R}^3$ , а направление ее движения единичным вектором  $a_i = (p_{i+1} - p_i) / |p_{i+1} - p_i|$ . Тогда положение и ориентация сварочной горелки в каждой точке траектории, имеющей номер  $i$  описывается следующей матрицей

$$H_i = \begin{bmatrix} a_i & a_i \times n_i & n_i & p_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где символ « $\times$ » обозначает векторное произведение.

Изменение ориентации сварочной горелки при ее движении вдоль сварных швов производится за счет вращения вокруг векторов  $a_i$ ,  $a_i \times n_i$  и  $n_i$  на соответствующие углы  $\alpha_j$ ,  $\beta_j$ ,  $\gamma_j$  ( $j=1 \dots M$ ).

Тогда положение и ориентация сварочной горелки могут быть описаны следующей матрицей преобразования

$$L_i = R(a_i, \alpha_j) R(a_i \times n_i, \beta_j) R(n_i, \gamma_j) H_i, \quad (2)$$

где  $R(a_i, \alpha_j)$ ,  $R(a_i \times n_i, \beta_j)$ ,  $R(n_i, \gamma_j)$  – матрицы вращения.

Для описания ориентации фланца робота-манипулятора применяются три единичных вектора  $a_f, a_f \times n_f, n_f$ . Эти вектора позволяют определить следующие геометрические параметры сварочного инструмента:  $T$  – смещение рабочей точки сварочного инструмента относительно фланца.  $L$  – смещение рабочей точки сварочного инструмента в направлении вектора  $n_i$ ,  $\phi$  – угол поворота фланца вокруг вектора  $a_f$ . С учетом указанных обозначений матрица преобразования сварочного инструмента имеет вид

$${}^f L_p = \begin{bmatrix} -\cos(\varphi) & -\sin(\varphi) & 0 & -L\cos(\varphi) \\ \sin(\varphi) & -\cos(\varphi) & 0 & L\sin(\varphi) \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

С учетом (1) – (3) может быть записано следующее уравнение движения сварочного инструмента вдоль швов

$$\mathbf{R}(\mathbf{a}_i, \alpha_j) \mathbf{R}(\mathbf{a}_i \times \mathbf{n}_i, \beta_j) \mathbf{R}(\mathbf{n}_i, \gamma_j) \mathbf{H}_i = {}^0 L_b(\mathbf{x}_k) {}^b L_f(\mathbf{q}_{i,j}^k) {}^f L_p, \quad (4)$$

где  ${}^0 L_b(\mathbf{x}_k)$  – матрица преобразования из мировой в базовую систему координат манипулятора,  ${}^b L_f(\mathbf{q}_{i,j}^k)$  – матрица преобразования робота-манипулятора,  $\mathbf{q}_{i,j}^k$  – углы в сочленениях манипулятора,  $d$  – число степеней свободы манипулятора.

Ограничения определяются кинематическими параметрами и возможностью столкновений сварочного инструмента с препятствиями

$$\Omega_{kin}(\mathbf{q}_{i,j}^k, \mu) = 0, \quad \Omega_{col}(\mathbf{q}_{i,j}^k, \mu) = 0, \quad (5)$$

где  $\Omega_{kin}, \Omega_{col}$  – бинарные функции, которые равны нулю, в случае если ограничения не нарушены. Функции  $\Omega_{kin}, \Omega_{col}$  вычисляются для сборочно-сварочной системы на основе кинематических характеристик и пространственных ограничений роботов, а так же а также учитывая геометрическую форму окружения роботов.

Тогда для поиск рационального компоновочного решения сборочно-сварочной системы может быть выполнен путем решения следующей задачи минимизации

$$J_{opt} = \min_{\alpha_j, \beta_j, \gamma_j} \sum_{n=1}^d w_n \sum_{j=1}^N |q_{n,i,j}^k - q_{n,i-1,j}^k| \rightarrow \min_{x_k}, \quad (6)$$

где  $w_n$  – весовые коэффициенты.

Предлагаемая процедура поиска экстремума критерия (6) включает два этапа. На первом этапе выполняется дискретизация области допустимых значений  $\mathbf{x}_k$  и для каждого положения базы робота выполняется поиск рациональной траектории с учетом ограничений (5). На втором этапе осуществляется выбор такого  $\mathbf{x}_k$  который минимизирует критерий (6).

## Заключение

Предложенный метод построения цифровой модели роботизированной сборочно-сварочной системы позволяет достаточно эффективно выбрать ее компоновочное решение. Перспективно применение данного метода в условиях промышленных систем автоматизированного проектирования роботизированных систем.

## Список использованных источников

1. Медведев С.В. Конструктивно-технологическое проектирование и моделирование сварных конструкций в распределенных суперкомпьютерных средах / С.В. Медведев // Сварочное производство. – 2022. – № 5. – С. 24–29.
2. Hong T.S., Ghobakhloo M., Khaksar W. Robotic welding technology // Comprehensive materials processing. – 2019. – № 6. – P. 77–99.
3. Wang B., Hu S.J., Sun L., Freiheit T. Intelligent welding system technologies: State-of-the-art review and perspectives // Journal of Manufacturing Systems. – 2020. – № 56. – P. 373–391.
4. Кожевников М.М., Чумаков О.А., Илюшин И.Э., Юркина А.А. Методика оптимизации положения робота-манипулятора в технологическом процессе лазерной резки // Доклады БГУИР. – 2021. – № 3, С. 49–57.
5. Кожевников М.М., Шеменков В.М., Миронова М.Н., Илюшин И.Э. Методика оптимального размещения роботов-манипуляторов в задачах автоматизированного проектирования // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 3 (76). – С. 42–51.
6. Илюшин И.Э., Кожевников М.М. Господ А.В. Алгоритм оптимизации роботизированного технологического комплекса для лазерной резки // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2023. – № 1 (40). – С. 8–15.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЛГОСРОЧНОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SPINEOPT

Северина Я.Д.<sup>1</sup>, Шакиров В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Россия, Иркутск, аспирант 1 курса, e-mail: yan.sewerina2910@yandex.ru

<sup>2</sup>Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Россия, Иркутск, к.т.н., доцент, с.н.с., e-mail: shakirov@isem.irk.ru

## Введение

В последние годы наблюдается повышение внимания к проблемам экологии и климата. Рост потребления углеводородных энергоресурсов, интенсивное развитие энергетики, промышленности и транспорта ведет к увеличению выбросов парниковых газов, может привести к глобальному потеплению. В 2015 году 197 стран мира заключили Парижское соглашение, целью которого является существенное сокращение мировых выбросов парниковых газов и удержание роста средней температуры в пределах 1,5 °С, тем самым обеспечивая переход к низкоуглеродной экономике. В этой связи возникает потребность в переходе от традиционной энергетики к альтернативным источникам энергии. Целью энергоперехода является создание низкоуглеродных энергосистем, в которых электростанции или вообще не используют ископаемое топливо или используют, но с применением технологий, минимизирующих выброс парниковых газов. В перспективе это может позволить решить масштабную проблему глобального изменения климата.

Использование возобновляемых энергоресурсов при производстве электрической и тепловой энергии, в отличие от сжигания ископаемого топлива, позволяет сократить выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферу. Поэтому большую роль в снижении антропогенной нагрузки на экосистему отводят возобновляемым источникам энергии (ВИЭ). Например, согласно отчету «World energy outlook 2023» [1] даже при консервативном сценарии развития доля только ветровой и солнечной генерации в производстве электрической энергии в мире превысит 50 % к 2050 году.

Несмотря на отмеченные достоинства ВИЭ, у данных источников есть ограничения применения. Одной из причин ограниченного использования таких энергоресурсов является их зависимость от погодных условий, что может привести к нестабильному энергоснабжению потребителей. Высокие показатели экономической эффективности и высокая надежность энергоснабжения при применении ВИЭ достигаются при их сочетании с другими технологиями выработки электрической и тепловой энергии, в том числе традиционными, при использовании накопителей энергии. Таким образом, создание гибридных энергетических систем или комплексов позволяет повышать эффективность использования ВИЭ и качество выработанной энергии, а также обеспечивает надежное энергоснабжение потребителей [2].

Особенностью современного этапа управления развитием энергетических систем и комплексов является непрерывное увеличение размерности решаемых задач, детализации математического описания технологий, детализации шага моделирования по времени. Моделирование позволяет учесть различные факторы, такие как неравномерный характер производства и потребления энергии, технологические особенности энергоисточников, а также экономические и экологические аспекты проблемы [3].

Таким образом, целью работы является моделирование долгосрочного развития энергетических систем в условиях энергоперехода с использованием программного продукта SpineOpt.

## Моделирование энергетических систем в SpineOpt

Для моделирования энергетических систем или комплексов существует большое количество программных продуктов, которые представлены в обзорах [4-6]. Исходя из анализа данных источников, более детально были рассмотрены программы SpineOpt, PyPsa, Switch, TEMOA и TIMES, так как это открытые программы с открытым исходным кодом, что позволяет пользователям расширять функциональность продукта. Сравнение данных программных продуктов по нескольким критериям представлено в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение программных продуктов для моделирования энергосистем

Критерий / Программный продукт	PyPsa	TEMOA	TIMES	Switch	SpineOpt
Удобство интерфейса	–	–	✓	✓	✓

Возможность моделирования энергетических систем с разными источниками энергии	✓	✓	✓	–	✓
Стохастическое программирование	–	✓	✓	–	✓
Скользящее планирование	✓	–	–	–	✓
Моделирование резерва	–	✓	✓	✓	✓
Возможность задать ограничения по производству и потреблению	✓	✓	✓	✓	✓
Планирование пуска и останова агрегатов	✓	✓	✓	✓	✓
Моделирование нескольких сценариев развития системы	–	–	–	–	✓

Исходя из информации, представленной в таблице 1, для дальнейшего исследования был выбран программный продукт SpineOpt, так как он обладает такими свойствами как универсальность и многофункциональность. Это позволяет осуществлять стохастическое программирование и скользящее планирование, моделировать различные энергосистемы как с ВИЭ, так и без, а также рассматривать несколько сценариев одновременно. Такие возможности подходят для решения задач, связанных с исследованием долгосрочного развития энергетических систем или комплексов. Кроме того, в отличие от TIMES программа SpineOpt может использовать бесплатный математический «решатель», например, HiGHS.

Рассмотрим использование программы SpineOpt на примере решения задачи развития локальной энергосистемы в Сахалинской области. Особенностью электроэнергетики Сахалинской области является ее технологическая изолированность от Единой национальной электрической сети России и от ОЭС Востока. Энергосистема Сахалинской области делится на отдельные автономные энергорайоны [7]:

- Центральный энергорайон, который обеспечивает электроснабжение южной и центральной частей;
- Северный район, который обеспечивает электроснабжением муниципального образования городской округ «Охинский» Сахалинской области;
- Децентрализованные (изолированные) энергорайоны на территории Курильских островов и отдаленных населенных пунктов ряда муниципальных образований Сахалинской области.

Основными источниками электрической и тепловой энергии в Сахалинской области являются тепловые электростанции. В «Центральном энергорайоне» ведущими генерирующими мощностями являются «Южно-Сахалинская ТЭЦ-1», основным топливом которой является природный газ, и АО «Сахалинская ГРЭС-2», основным топливом которой является уголь. В «Северном энергорайоне» основным источником является «Охинская ТЭЦ», которая использует природный газ для производства энергии. В изолированных энергорайонах электроэнергия производится дизельными электростанциями, а транспорт электроэнергии осуществляется в границах населенных пунктов, так как электрическая связь с основными энергорайонами области отсутствует.

Одним из таких изолированных энергорайонов является энергорайон «Новиково» в юго-западной части о. Сахалин. Энергорайон расположен на территории Тонино-Анивского полуострова и включает с. Новиково, Пихтовое, Береговое и Муравьево. Основным источником электроэнергии на данной территории является ветродизельная электростанция «Новиково» (ВДЭС «Новиково»), установленной мощностью 4,7 МВт. На электростанции используются две ветроэнергетические установки Vestas V25 номинальной мощностью 2×225 кВт. Электрическая сеть выполнена линиями электропередачи (ЛЭП) напряжением 6(10) кВ, протяженностью 7,31 км. К линии подключена одна подстанция с трансформатором мощностью 1 МВА. Кроме того, в энергорайоне построены ЛЭП низкого напряжения 0,22-0,4 кВ протяженностью 7,54 км. В 2020 году электропотребление составило 1,603 млн. кВт·ч с полезным отпуском 1,49 млн. кВт·ч (из них: промышленные потребители – 0,05 млн. кВт·ч, население – 0,97 млн. кВт·ч, прочие – 0,48 млн. кВт·ч), а также хозяйственные нужды (0,059 млн кВт·ч). Из этого следует, что на данной территории расположены потребители с разным характером нагрузки [8].

Так как энергорайон «Новиково» является изолированным, то в дальнейшем планируется подключение ВДЭС «Новиково» к Центральному энергорайону [8].

На территории Тонино-Анивского полуострова расположено Новиковское месторождение угля (ранее угольный разрез «Новиковский»), которое было введено в эксплуатацию в 1967 году. На данном

карьере добывался германийсодержащий технологический уголь и аргиллит, а также энергетический уголь. С 2007 года эксплуатация месторождения прекращена, все остаточные запасы переведены в нераспределенный фонд.

Германий – важнейший металл, широко используемый в космических исследованиях, военной технике, радиотехнической, электротехнической промышленности и т.д. В последние годы наблюдается повышение спроса и цен на германий, расширяется спектр его применения. Извлечение германия возможно при сжигании угля с улавливанием германийсодержащей золы [9]. Другим вариантом может быть газификация угля с извлечением германия из золы. При этом газификация угля открывает возможности для получения из синтез-газа различных продуктов – водорода, метанола и др. Энергетическое использование угля возможно, как на основе традиционных паросиловых установок, так и с использованием парогазовых установок с внутрицикловой газификацией угля (ПГУ-ВЦГ). При использовании угля целесообразно рассмотреть технологии улавливания и хранения углерода. Кроме того, район располагает высоким ветроэнергетическим и гелиоэнергетическим потенциалом, что позволяет включить в анализ ВИЭ-генерацию.

Из-за многообразия вариантов развития энергетической системы Тонино-Анивского полуострова целесообразно использовать моделирование в SpineOpt. На рис. 1 представлена модель возможного развития энергосистемы рассматриваемой территории.

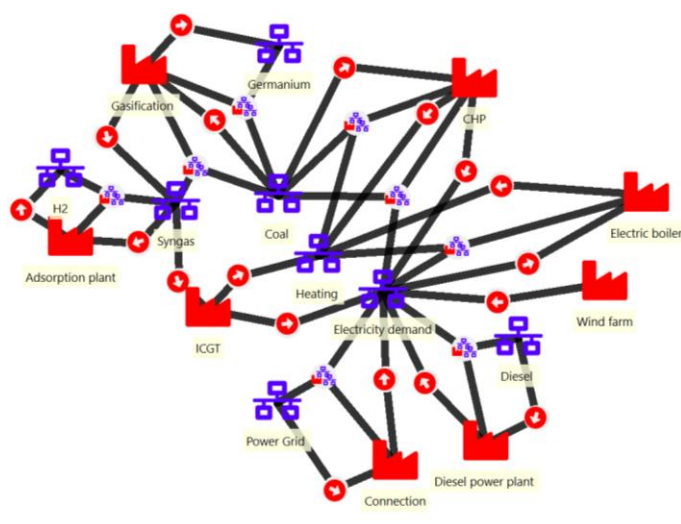


Рис. 1. Модель энергетической системы Тонино-Анивского полуострова в SpineOpt

На начальном этапе моделирования энергосистема будет включать в себя существующую ВДЭС «Новиково» (блоки «Diesel power plant» и «Wind farm»), которая является основным источником питания потребителей. В дальнейшем может осуществляться добыча германия («Germanium») и использоваться уголь для энергетических целей на ТЭЦ с улавливанием и без улавливания CO<sub>2</sub> (блок «CHP» и «Coal») или ПГУ-ВЦГ (блоки «Gasification», «ICGT») для покрытия перспективных электрических и тепловых нагрузок (блоки «Electricity demand» и «Heating demand»). Синтез-газ может использоваться для производства водорода (блоки «H<sub>2</sub>» и «Adsorption plant»). Кроме того, необходимо учесть возможность подключения локальной энергосистемы к Центральному энергорайону (блоки «Power Grid» и «Connection»). В зависимости от задаваемых условий (уровни цен, спрос на энергоносители) и ограничений (на выбросы парниковых газов, на уровень инвестиций, на доступность технологий) SpineOpt может определять оптимальные варианты конфигураций энергосистемы и сценарии ее развития на определенный период времени.

Моделирование проводилось для двух сценариев развития энергетической системы: консервативного и инновационного, в которых были заданы одинаковые значения ограничений на выбросы CO<sub>2</sub>, но разные значения ограничений на ввод объектов ВИЭ. В результате моделирования за расчетный период 25 лет были получены следующие оптимальные планы развития. При консервативном сценарии наиболее целесообразно развитие энергосистемы за счет традиционных источников, таких как угольная станция, ТЭЦ без улавливания CO<sub>2</sub>, ДЭС, и возобновляемых источников, таких как ВЭС. В данном случае преимущественно снабжение потребителей осуществляется от традиционных источников энергии, поэтому суммарные выбросы CO<sub>2</sub> составили 2457,53 тыс. т., а добыча германия –

423,72 т. При инновационном сценарии наиболее целесообразно развитие энергосистемы за счет ВЭС, так как рассматриваемая территория обладает высоким ветроэнергетическим потенциалом, угольной станции и ТЭЦ без улавливания CO<sub>2</sub>. В данном случае добыча германия составила 350,4 т, а выбросы CO<sub>2</sub> – 2032,06 тыс.т., так как в энергосистеме присутствует доля ВИЭ больше, чем в предыдущем сценарии развития.

### **Заключение**

Краткий обзор проблемы энергоперехода и программных продуктов для моделирования энергосистем позволил выделить SpineOpt как наиболее перспективное решение для исследований долгосрочного развития энергосистем. Разработанная в SpineOpt модель энергосистемы Тонино-Анивского полуострова позволяет исследовать варианты ее долгосрочного развития. С помощью модели в SpineOpt произведен анализ развития энергосистемы при различных сценариях: консервативном и инновационном, с ограничениями на выбросы CO<sub>2</sub> и ввод объектов ВИЭ. Полученные решения позволяют определить перспективные направления технологического развития энергетической системы.

### **Список использованных источников**

1. World energy outlook 2023 // IEA – International Energy Agency: сайт. – 2023 – URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> (дата обращения 28.09.2024).
2. Мхитарян Н.М. Комплексное использование энергии возобновляемых источников / Н.М. Мхитарян, С.О. Кудря, Л.В. Яценко [и др] // Альтернативная энергетика и экология, 2013. – № 17. – С. 14–22.
3. Лисочкина Т.В. Экономико-математические методы и модели принятия решений в энергетике / Т.В. Лисочкина, Э.М. Косматов, А. Ирешова [и др], под общ. Ред. П.П. Долгова, И. Климы. – Л. : Издательство Ленинградского университета, 1991. – 224 с.
4. Ihlemann M., Kouveliotis-Lysikatos I. SpineOpt: A flexible open-source energy system modelling framework // Energy Strategy Reviews. – 2022. – Vol. 43 – P. 1–13.
5. Laveneziana L., Prussi M., Chiaramonti D. Critical review of energy planning models for the sustainable development at company level // Energy Strategy Reviews. – 2023. – Vol. 49. – P. 1–20.
6. Kiviluoma J., Pallonetto F. Spine Toolbox: A flexible open-source workflow management system with scenario and data management // SoftwareX. – 2022. – Vol. 17. – P. 1–7.
7. Правительство Сахалинской области. Постановление. Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Сахалинской области на период до 2035 года. – 2019. – 24 декабря. – № 618 (ред. от 18.03.2020).
8. Губернатор Сахалинской области. Указ. Об утверждении Схемы и Программы развития электроэнергетики Сахалинской области на 2021 - 2025 годы. – 2021. – № 24.
9. Авдеев П.Б., Кужиков А.А., Куклина Г.Л. Перспективы использования германийсодержащих углей Тарбагатайского бурогоугольного месторождения в Забайкалье // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 4. – С. 26–31.

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ МИКРОГЕНЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Клишин П.П.<sup>1</sup>, Васьков А.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», ИГВИЭ, группа: ИГ-02м-24, e-mail: KlishinPP@mpei.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», ИГВИЭ, доцент, e-mail: VaskovAG@mpei.ru

## Введение

В условиях глобальных климатических изменений и растущего спроса на устойчивые и экологически чистые источники энергии солнечная энергетика набирает всё большую популярность. Солнечные электростанции (СЭС) мощностью до 15 кВт, что является объектом микрогенерации [1], становятся доступным решением для частных домохозяйств и малых предприятий. Данная работа нацелена на разработку программного комплекса для автоматизированного расчета параметров объектов микрогенерации, что позволит пользователям оценить потенциал солнечной энергии на их участках.

Главной особенностью программы является её ориентация на предварительные (первичные) расчёты. Это позволит пользователям быстро и эффективно оценить целесообразность установки СЭС, даже не обладая глубокими техническими знаниями или специализированным программным обеспечением. Программа предоставляет простой способ получить прогноз по окупаемости, оптимальным параметрам установки и возможной экономии.

Основная цель работы – создание удобного инструмента для предварительных расчетов, который позволит пользователям легко получить информацию об экономической целесообразности установки СЭС и сроках их окупаемости. В ходе работы был разработан алгоритм, включающий расчет солнечного излучения, выбор оптимальных параметров и оборудования, а также проведение экономических оценок.

## Основная часть

Перед началом разработки был проведен анализ существующих программных решений для расчета параметров СЭС, таких как PVsyst [2], HOMER [3], SAM [4] и Polysun [5]. Эти программы предоставляют широкий функционал для моделирования и анализа, однако обладают рядом недостатков, таких как сложность освоения для неопытных пользователей, высокая стоимость лицензий или излишняя детализация для быстрой оценки проектов.

Одной из ключевых задач в расчете параметров солнечной электростанции является корректный пересчет солнечного излучения с горизонтальной поверхности на произвольно ориентированную плоскость. В программе основной расчет выполняется по методике, основанной на формулах Клейна [6], что позволяет точно определить количество солнечного излучения, падающего на фотоэлектрические модули с учётом их ориентации и угла наклона, а также с учетом географического расположения объекта.

Программа использует данные из специализированных баз данных по приходу солнечного излучения, таких как PVGIS [7] и RenewablesNinga [8], а также из климатических справочников по климату СССР. Все расчёты выполняются с часовой дискретностью, что позволяет учесть изменения солнечной активности в течение дня и года.

Хотя основной метод пересчета основан на формулах Клейна, также был реализован дополнительный вариант пересчета разработанный Национальной лабораторией Сандии [9].

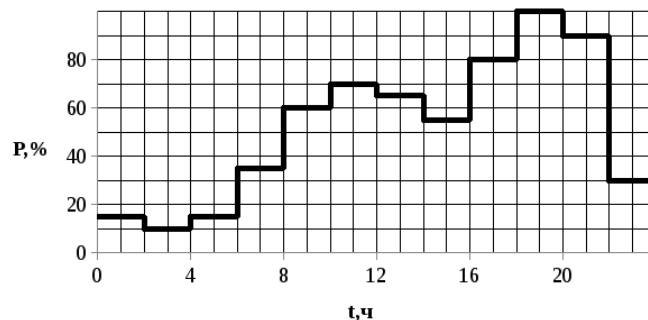


Рис. 1. Стандартный график нагрузки жилого района

$$T_{cell} = T_a + \frac{(NOCT-20) \cdot E_{POA}}{E_{NOCT}}, \quad (1)$$

где  $T_{cell}$  – температурный коэффициент;  $T_a$  – температура в данный момент времени;  $NOCT$  – температура модуля при стандартных условиях;  $E_{POA}$  – суммарная солнечная радиация;  $E_{NOCT}$  – стандартная освещенность модуля.

$$U_{XX} = U_{XX}^{STC} \cdot \left(1 + \frac{K_{T_{XX}}}{100} \cdot (T_{cell} - 25)\right), \quad (2)$$

где  $U_{XX}$  – напряжения XX солнечной панели с учетом температурного коэффициента;  $U_{XX}^{STC}$  – напряжение XX солнечного модуля при стандартных условиях;  $K_{T_{XX}}$  – температурный коэффициент солнечного модуля для напряжения XX

$$I_{SC} = I_{SC}^{STC} \cdot \left(1 + \frac{K_{T_{SC}}}{100} \cdot (T_{cell} - 25)\right), \quad (3)$$

где  $I_{SC}$  – ток КЗ солнечной панели с учетом температурного коэффициента;  $I_{SC}^{STC}$  – ток КЗ солнечного модуля при стандартных условиях;  $K_{T_{SC}}$  – температурный коэффициент солнечного модуля для тока КЗ.

$$P_{PV} = \frac{\eta_{module}}{100} \cdot A_{module} \cdot E_{POA} \cdot \left(1 + \frac{K_{T_P}}{100} (T_{cell} - 25)\right) \cdot \frac{\eta_{INV}}{100} \cdot N_{tehn}, \quad (4)$$

где  $P_{PV}$  – вырабатываемая мощность СЭС;  $\eta_{module}$  – КПД солнечного модуля;  $K_{T_P}$  – температурный коэффициент солнечного модуля для мощности;  $\eta_{INV}$  – КПД инвертора;  $A_{module}$  – площадь солнечного модуля;  $N_{tehn}$  – технически возможное количество панелей.

Один из самых важных этапов — это экономическая оценка проекта. Программа позволяет рассчитать срок окупаемости СЭС, основываясь на текущей стоимости электроэнергии и возможности продажи излишков в сеть. Для этого рассматриваются два сценария:

- Без продажи излишков электроэнергии в сеть: программа позволяет рассчитать, за какой срок солнечная электростанция окупится, исходя только из того, сколько электроэнергии будет сэкономлено за счет её выработки.

- С продажей излишков электроэнергии в сеть: если пользователь планирует продавать излишки электроэнергии в сеть, программа учитывает этот фактор в расчёте. В этом случае срок окупаемости уменьшается за счёт дополнительного дохода.

Приложение написано на языке программирования Kotlin в среде разработки IntelliJ IDEA. Kotlin был выбран за его совместимость с Java и поддержку современных языковых конструкций, что позволяет писать более компактный и понятный код. Упрощенная логика работы представлена на блок-схеме (рис. 2).

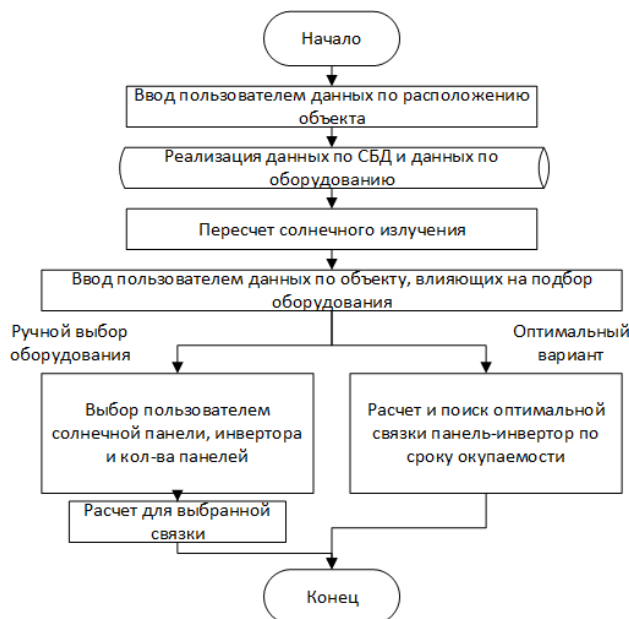


Рис. 2. Блок-схема разработанного программного комплекса

Графический интерфейс программы был разработан с использованием JavaFX, предоставляющей широкие возможности для создания визуально привлекательных приложений, включая работу с



графикой, мультимедиа и взаимодействием с пользователем. Интерфейс разработанной программы поддерживает ввод исходных данных от пользователя, таких как расположение рассчитываемого объекта, выбор специализированной базы данных для расчета и параметры влияющие на подбор оборудования. Главное окно программы изображено на рис. 3.

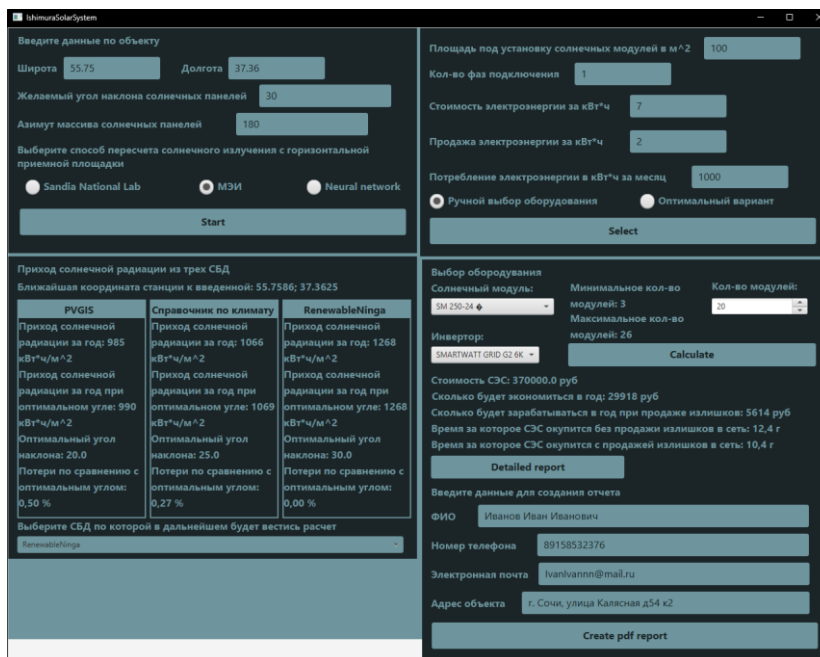


Рис. 3. Главное окно разработанной программы

Одной из важных функций программы является возможность автоматической генерации отчета. Это особенно полезно для компаний, где менеджеры могут проводить расчеты по параметрам СЭС для объектов заказчиков и автоматически генерировать профессиональные отчеты. Программа предоставляет подробные данные о расчетах, включая информацию о выбранном оборудовании, ожидаемой выработке энергии и сроках окупаемости. Этот отчет может быть практически мгновенно отправлен заказчику, что упрощает процесс принятия решений и ускоряет взаимодействие с клиентами.

## Заключение

Созданный программный комплекс предоставляет пользователям простой и эффективный способ расчета параметров солнечных электростанций. Он учитывает данные о солнечной радиации, позволяет выбрать оптимальное оборудование и проводит экономические расчёты. Это решение полезно как для частных домовладельцев, так и для малых предприятий, которые хотят сократить свои расходы на электроэнергию и внести вклад в развитие возобновляемой энергетики. В дальнейшем планируется расширение функционала программы, включая добавление новых методов перерасчета солнечной радиации, добавление расчета для гибридных и автономных солнечных электростанций.

## Список использованных источников

1. Правовые акты. Федеральный закон от 27.12.2019 № 471-ФЗ – URL: <https://goo.su/6HZQn> (дата обращения 20.02.2024)
2. PVSyst – URL: <https://www.pvsyst.com/> (дата обращения 15.03.2024)
3. Homer Energy – URL: <https://homerenergy.com/products/pro/> (дата обращения 15.03.2024)
4. SAM – URL: <https://sam.nrel.gov/download.html> (дата обращения 15.03.2024)
5. Polysun – URL: <https://www.velasolaris.com/downloads/?lang=en> (дата обращения 15.03.2024)
6. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА // Методика расчета среднечасового прихода солнечного излучения на произвольно-ориентированную приемную площадку – с 135.
7. Renewables.ninja – URL: <https://www.renewables.ninja/> (дата обращения 20.03.2024)
8. PVGIS – URL: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/) (дата обращения 20.03.2024)
9. PVPMC // Modeling Guide – URL: <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-guide/> (дата обращения 05.04.2024)

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА ВИХРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ СЕПАРАТОРЕ

Мугинов А.М.<sup>1</sup>, Шаймарданов А.Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Казанский государственный энергетический университет, группа ЭО-1-21  
e-mail: dostoevskijkant@gmail.com

<sup>2</sup> Казанский государственный энергетический университет, группа А-1-21  
e-mail: ansel.shaymardanov@gmail.com

## Введение

В условиях современного развития нефтегазодобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, а также средств технологической связи, актуальной остается проблема обеспечения электроэнергией удаленных объектов нефтегазового сектора. Эта задача особенно важна в случаях, когда нет надежного электроснабжения от линий электропередачи или отсутствует подключение к электрической сети. В таких ситуациях все более широкое применение находят возобновляемые источники энергии, включая солнечную и ветровую энергетику, а также геотермальные ресурсы [1].

Тем не менее при стабильно высоком потреблении электроэнергии автономных контрольных пунктов на газопроводах применяются генераторы, работающие на углеводородном топливе, которое отводится из магистральных линий газопровода. Параметры и качество такого газа не удовлетворяют требованиям генераторов, поэтому топливо проходит стадии очистки и редуцирования давления. Надежность и долговечность работы аппаратов редуцирования и генератора напрямую зависят от эффективности работы фильтр-сепаратора, производящего очистку газа от дисперсных частиц. Однако эффективность таких сепараторов остается недостаточной, что приводит к попаданию влаги в редукторы давления. Поэтому вопрос улучшения работы фильтр-сепараторов остаётся актуальным [2].

Целью данной работы является определить характер вихреобразования в центробежном сепараторе посредством математического моделирования.

## Описание алгоритма

Для исследования процесса работы центробежного сепаратора построена цифровая модель аппарата. Расстояние от внешней стенки внутренней трубы до внутренней стенки внешней трубы составляет 24,9 мм. Внутренний диаметр внутренней трубы составляет 39 мм. Диаметр окружности, формирующей отверстия во внутренней трубе, составляет 16 мм.

Для проведения математического моделирования построен меш проточной зоны сепаратора. В ходе исследования анализировалась осевая скорость газового потока на разных уровнях межтрубного пространства сепаратора в межтрубном пространстве (рис. 1). Первый уровень совпадает с пластиной с отверстиями, а остальные отсыпаяют от предыдущего на 10 мм. Скорость газового потока на входе в аппарат задавалась 0,001 м/с.

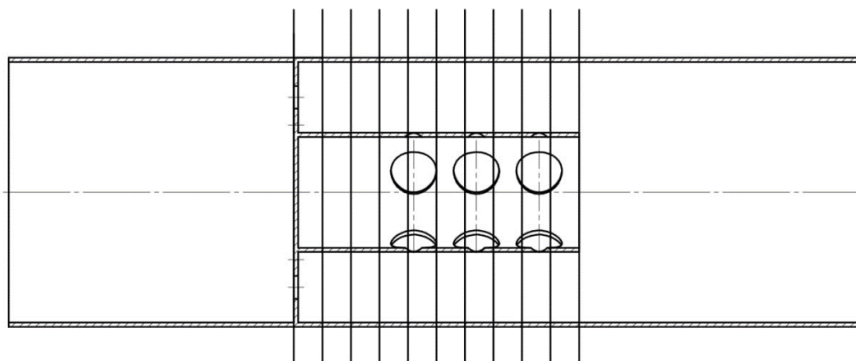


Рис. 1. Модель центробежного сепаратора в разрезе с демонстрацией уровней, на которых производился расчет

На основе данных, полученных в ходе численного моделирования, построен график зависимости безразмерной осевой скорости (отношения осевой компоненты скорости вихря к скорости на входе в устройство) от безразмерной координаты (отношения координаты на оси, проходящей через центр вихря к диаметру вихря) на различном расстоянии от входа в устройство (рис. 2). При анализе, полученных данных, было выявлено, что максимальные значения осевой скорости достигаются в середине

сепарационной зоны, что вызвано устремлением потока в отверстия, сделанные в верхней пластине устройства. Скорость падает при удалении от центра и достигает нулевого значения у краев сепарационной зоны. По мере приближения к началу сепарационной зоны максимальное значение безразмерной осевой скорости снижается, что свидетельствует о снижении эффективности вследствие уменьшения количества вихрей.

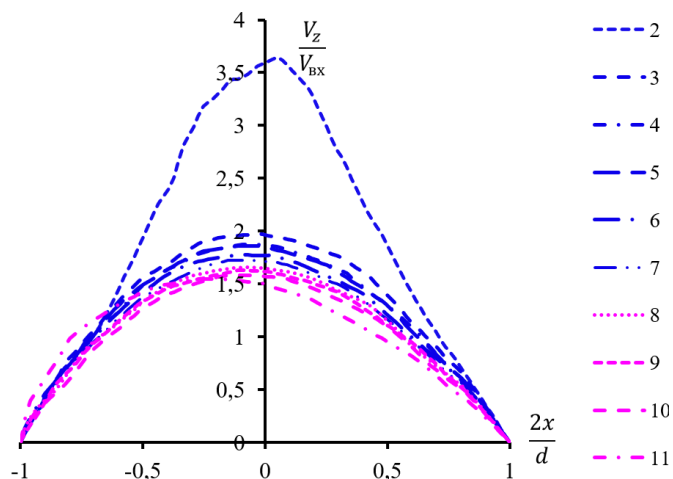


Рис. 2. График зависимости безразмерной осевой скорости от безразмерной координаты на различном расстоянии от входа в устройство

### Заключение

Получены графики, характеризующие процесс вихреобразования в сепараторе. Определены тенденции изменения осевой составляющей скорости на различных уровнях сепарационной зоны.

### Список использованных источников

1. Бердин В.Х., Кокорин А.О., Юлкин Г.М., Юлкин М.А. Возобновляемые источники энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики. М. : Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2017. – 80 с.
2. Дмитриев А.В. Эффективность прямоугольного сепаратора в зависимости от оформления элементов внутри аппарата / А.В. Дмитриев, В.Э. Зинуров, О.С. Дмитриева, В.Л. Нгуен // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2018. – Т. 10. – № 1 (37). – С. 74–81.

# ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К МОНИТОРИНГУ ПАРАМЕТРОВ МНОГОФАЗНЫХ ЖИДКОСТЕЙ: ПРИМЕНЕНИЕ ПМР-РЕЛАКСОМЕТРА С УПРАВЛЕНИЕМ СРЕДОЙ ПРОГРАММИРОВАНИЯ LABVIEW

*Васинкин К.А.<sup>1</sup>, Кашаев Р.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Казанский государственный энергетический университет, каф. ПМ, СЭМа-1-22,  
e-mail: k.vasinkin@yandex.ru*

<sup>2</sup> *Казанский государственный энергетический университет, каф. ПМ, профессор,  
email: kashaev2007@yandex.ru*

## **Введение**

Измерение и контроль параметров технологических процессов представляют собой ключевые инструменты управления, в то время как уровень оснащенности измерительной техникой является важным показателем научно-технического прогресса. Нефтедобывающая и химическая отрасли уже длительное время испытывают потребность в устройствах, способных осуществлять мониторинг параметров многофазных жидкостей и органических смесей в потоке, не прибегая к их разделению на отдельные фазы и без использования движущихся элементов. Одним из таких приборов является ПМР-релаксометр, разработанный профессором Казанского государственного энергетического университета Р.С. Кашаевым. Для инновационного подхода к задаче, мы решили разработать новые технологии, предусматривающие соединение программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) с платой контроллера Arduino. При соединении достигается значительное ускорение процессов. Выбор метода подключения является достаточно простым, и для его реализации достаточно лишь компьютера и программного обеспечения LABVIEW. Однако действительно ли это так? Зададимся целью и рассмотрим данный вопрос более подробно.

## **Описание алгоритма**

Для реализации высокоскоростной системы сбора данных, которая может точно дискретизировать аналоговые сигналы и фиксировать их в памяти, можно использовать ПЛИС. Плата Arduino может быть подключена к датчикам и другим устройствам, обеспечивая управление процессом сбора данных и передачу входной информации. Для проектирования системы сбора данных, базирующейся на ПЛИС, предлагается использовать LABVIEW. Важно создать подходящие порты ввода/вывода и разработать логические схемы для взаимодействия с выбираемыми датчиками или источниками данных. Соединение следует осуществить через механизмы I2C или SPI, что позволит Arduino взаимодействовать с ПЛИС и получать данные, собранные последним.

Этапы программирования

1. Установка необходимого программного и аппаратного обеспечения.
2. Подключение ПК к плате.
3. Использование USB-кабеля для соединения платы ПЛИС с компьютером (компьютер должен автоматически распознать плату).
4. Написание программы в LABVIEW.
5. Загрузка программы.
6. Тестирование программы.
7. Подключение входных и выходных устройств: датчика, передатчика и приемника, с которыми взаимодействует программа - это устройства ввода и вывода.
8. Проверка работоспособности программы.

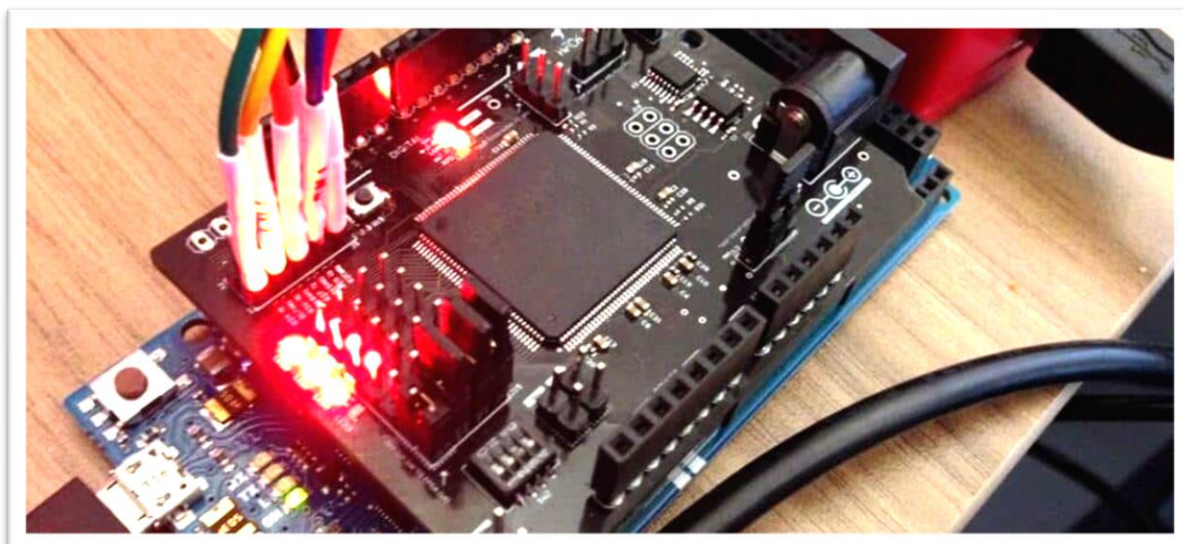


Рис. 1. Схема подключения Arduino FPGA

Генерация импульсной последовательности осуществляется на ПЛИС и выводится через цифровой модуль Arduino. Генератор радиочастотных импульсов формирует прямоугольные импульсы, параметры которых задаются в управляющей программе на персональном компьютере. Сформированные радиочастотные импульсы модулируются на рабочей частоте релаксометра ПМР. Далее, в передатчике происходит усиление радиочастотных импульсов до значений десятков (иногда сотен) вольт, которые направляются в датчик. Слабые сигналы (обычно в диапазоне единиц или десятков микровольт), вызванные ядрами спина в радиочастотной катушке, усиливаются широкополосным усилителем. Затем, этот усиленный сигнал поступает в приемник, где он дополнительно усиливается и детектируется. После детектирования, сигнал проходит оцифровку с использованием аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и передается в цифровом формате управляющей программе LABVIEW на компьютере пользователя. Программа формирует импульсные последовательности, что подразумевает возможность изменения длительности импульсов и интервалов между ними в широком диапазоне.

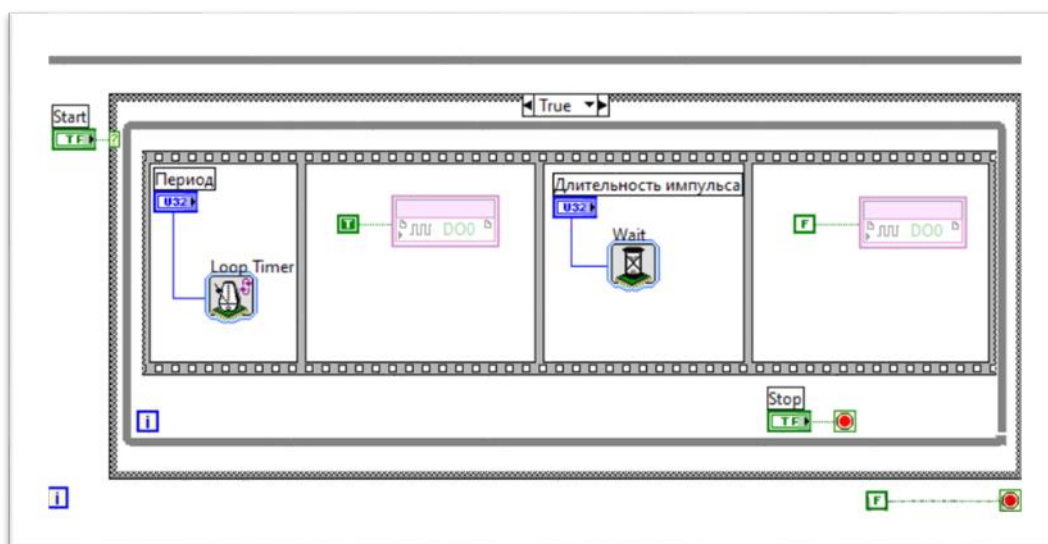


Рис. 2. Блок-схема подприбора HOST VI (работа с ПК)

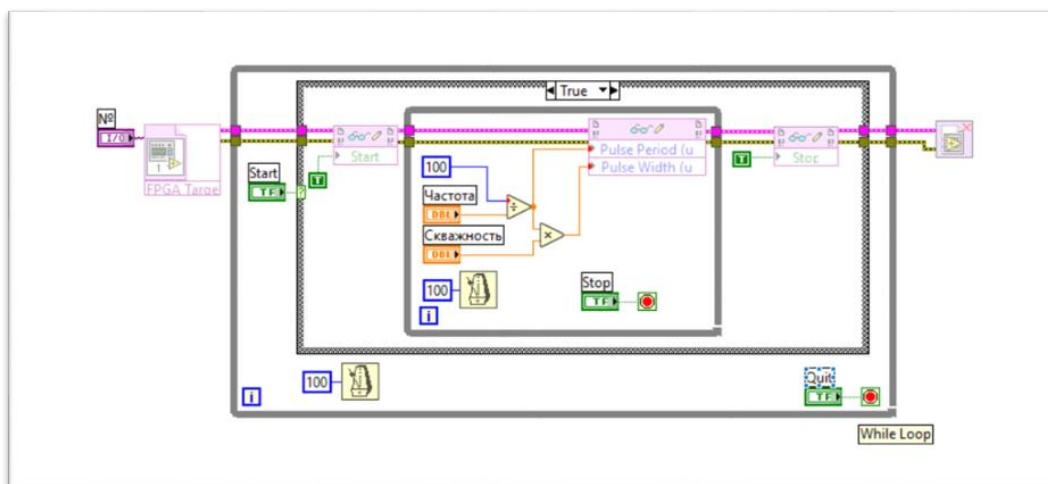


Рис. 3. Блок-схема подприбора FPGA VI (работа после компиляции)

Повторяющаяся серия импульсов, разделенных по времени фиксированным и часто постоянным интервалом. Длительность каждого импульса и его коэффициент заполнения (скважность) также делаются постоянными. В этом примере мы генерируем цифровую непрерывную последовательность импульсов с переменной частотой и коэффициентом заполнения. Последовательность импульсов генерируется на ПЛИС и выводится из цифрового модуля вывода Arduino.

### Заключение

Использование программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) в сочетании с платой Arduino позволило эффективно генерировать цифровую непрерывную последовательность импульсов. Данная разработка имеет значительные перспективы для применения в различных областях, включая технологии, связанные с контролем и измерением физических процессов. В ходе проведенного исследования была успешно реализована система генерации повторяющейся серии импульсов с фиксированными временными интервалами и постоянными характеристиками на ПЛИС в среде программирования LABVIEW

### Список использованных источников

1. Релаксометр протонного магнитного резонанса / Р.С. Кашаев [и др.] // Приборы и техника эксперимента. – 2019. – № 2. – С. 145–148.
2. Крюков В.В. Информационно-измерительные системы [Текст] / В.В. Крюков // Учебное пособие. – Владивосток : ВГУЭС, 2000. – С. 9–15.
3. Чан Ван Тунг, Кашаев Р.С. Радиочастотный генератор и программатор импульсных последовательностей для релаксометра ПМР // Известия высших учебных заведений. Проблемы Энергетики. – 2020. – Т. 22, № 3. – С. 90–96.
4. Экспресс-метод и аппаратура протонного магнитного резонанса для измерения плотности нефтей / Р.С. Кашаев [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. – 2019. – Т. 86, № 2. – С. 263–268.
5. Литвин А.М., Сахнюк А.А. Системы сбора данных нового поколения: платы и модули М-серии [Текст] / А.М. Литвин, А.А. Сахнюк // Журнал ПиКАД: промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – 2005. – № 2. – С. 6–32.



# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСАДК ФУНДАМЕНТА СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Долгова А.Н.<sup>1</sup>, Ахметвалиева Л.Р.<sup>2</sup>, Сатаров А.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> КГЭУ, доцент, e-mail: [dolgova.an@list.ru](mailto:dolgova.an@list.ru)

<sup>2</sup> КГЭУ, гр.ЭОСм-1-24, e-mail: [ee-kgeu@mail.ru](mailto:ee-kgeu@mail.ru)

## Введение

Сушка – это процесс извлечения влаги из твердого или пастообразного материала, происходящий за счёт испарения содержащейся в нём жидкости путём подведения к материалу тепла. Во время сушки теплопроводность материала меняется, уменьшается его масса, при этом происходит повышение прочности. Вероятность использования материала в производстве увеличивается при повышении его качества. Это возможно за счёт использования определённого процесса сушки, осуществляющемся при конкретной температуре, давлении и относительной влажности сушильного агента. Режим сушки, в свою очередь, зависит от свойств высушиваемого материала [1].

Фундамент сушильных камер – один из ключевых элементов, обеспечивающий крепкую опору для всей конструкции и позволяющий выдерживать значительные нагрузки. Он должен удовлетворять требованиям расчета по прочности и по пригодности к нормальной эксплуатации. Проектируется как правило отдельным под каждую камеру или общими под несколько камер, а также он должен быть отделен сквозным швом от смежных фундаментов здания, сооружения и оборудования и пола [2].

Целью работы является расчет осадки фундамента сушильной установки с применением компьютерного моделирования и исследование влияния степени загрузки установки на фундамент в статических условиях.

## Основная часть

Сушильные установки, которые используются в различных отраслях промышленности, таких как сельское хозяйство, пищевая промышленность и строительство, требуют прочного фундамента для эффективной и безопасной работы. Фундаменты сушильных установок являются важнейшим компонентом систем и должны отвечать определенным требованиям, чтобы обеспечить стабильность работы установки.

Одним из основных требований к фундаменту сушильной установки является его несущая способность. Фундамент должен выдерживать вес установки, а также любые дополнительные нагрузки, такие как ветер или сейсмические силы.

Еще одним важным требованием к фундаменту сушильной установки является его устойчивость и осадка. Фундамент должен быть способен противостоять оседанию и смещению, которые могут привести к повреждению установки и повлиять на ее работоспособность. Устойчивость и осадка фундамента определяются типом грунта, весом установки и условиями окружающей среды.

Состояние почвы – еще один критический фактор, который может существенно повлиять на фундамент сушильной установки. Несущая способность грунта, поведение осадки, а также вероятность разжижения или нестабильности – все это может повлиять на фундамент.

Также на фундамент оказывают воздействия различные нагрузки.

Нагрузки можно классифицировать на два типа: постоянные и временные. К постоянным можно отнести вес самой конструкции, а также ограждающих конструкций здания в целом (стены, крышу и любые постоянные крепления). Она обычно рассчитывается на основе проектных характеристик здания с учетом используемых материалов и конструктивных элементов. Временная нагрузка включает вес высушиваемых материалов, а также любого переносного оборудования, персонала и т.п. Ее предсказать сложнее, поскольку она зависит от различных факторов, таких как тип и количество высушиваемых материалов, частота использования и различные эксплуатационные мероприятия.

Также нагрузки можно разделить на:

- статические нагрузки – это постоянные силы, которые действуют на фундамент сушильной установки. Они включают в себя вес оборудования, вес материалов, которые обрабатываются, и другие постоянные нагрузки;
- динамические нагрузки – это переменные силы, которые возникают в процессе работы сушильной установки. Они включают в себя вибрации, удары и другие динамические силы, создаваемые оборудованием [3].

Чтобы фундамент мог выдержать нагрузку, важно провести тщательный анализ ожидаемых нагрузок и соответствующим образом спроектировать фундамент, в частности с использованием специализированного программного обеспечения.

Рассмотрена роторная сушилка Zhengke для сушки удобрений со следующими характеристиками: модель – ЗКРД-1812; градиент – 3-5 %; диаметр – 1800 Мм; длина – 12000 Мм; скорость – 2-6 об/мин; мощность вращения – 18,5 кВт; производительность – 5-12 т/ч; масса – 18,9.

Сушилка располагается на 3-х столбчатых опорах квадратного сечения: 2000×2000 мм; 2000×3000 мм (средняя опора с приводом); 2000×2000 мм.

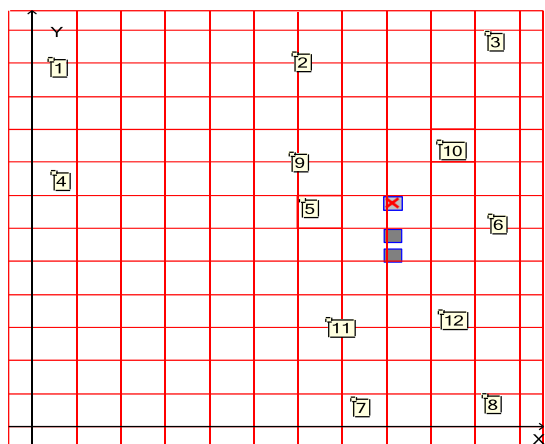


Рис. 1. Схема площадки

Расчет основания выполнялся итерационно с помощью комплекса программных продуктов SCAD Office + SCAD Кросс, пока разница максимальных осадок, подсчитанных для двух итераций, не станет менее 5 %. Для расчета использовалась КЭ-модель плит фундамента. Основание смоделировано площадкой в Кросс с указанием расположения скважин (скважины 1-8, арх77, арх 78).

На рис. 1 и 2 показаны схема площадки и коэффициенты постели под подошвами опор соответственно. На рисунках 3 и 4 показаны результаты расчета основания на статическую нагрузку с использованием SCAD Office + SCAD Кросс.

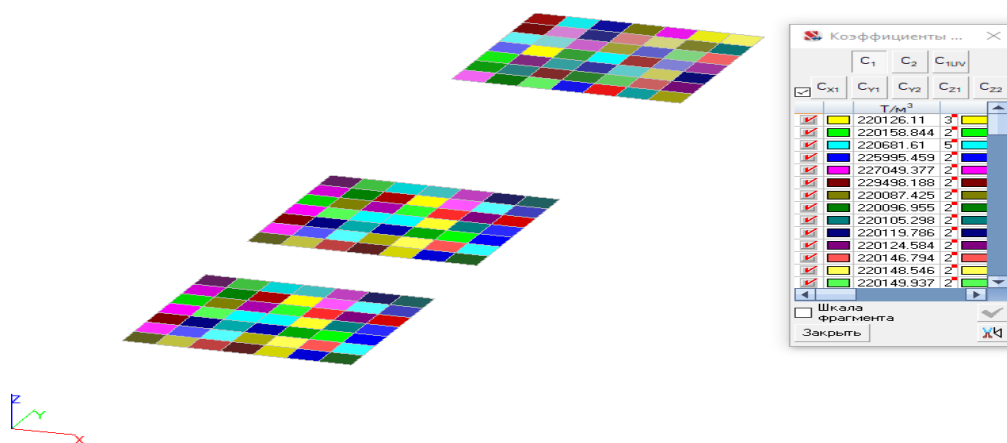


Рис. 2. Коэффициенты постели под подошвами опор

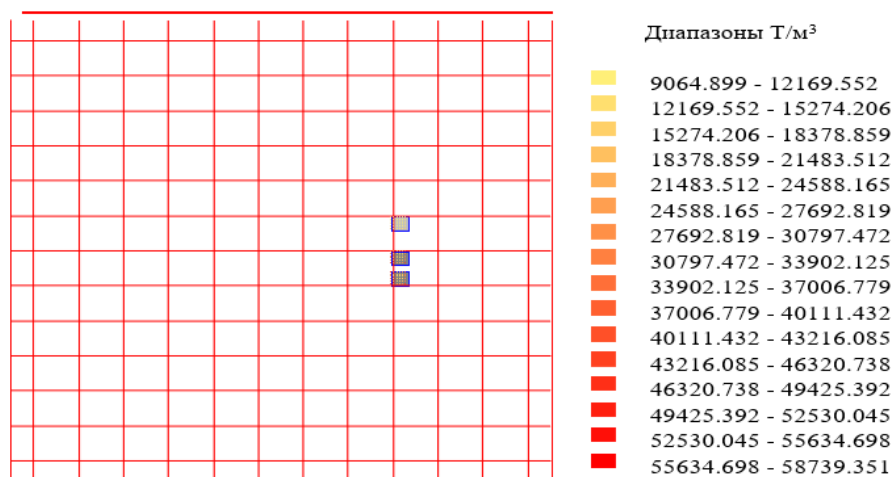


Рис. 3. Коэффициенты постели



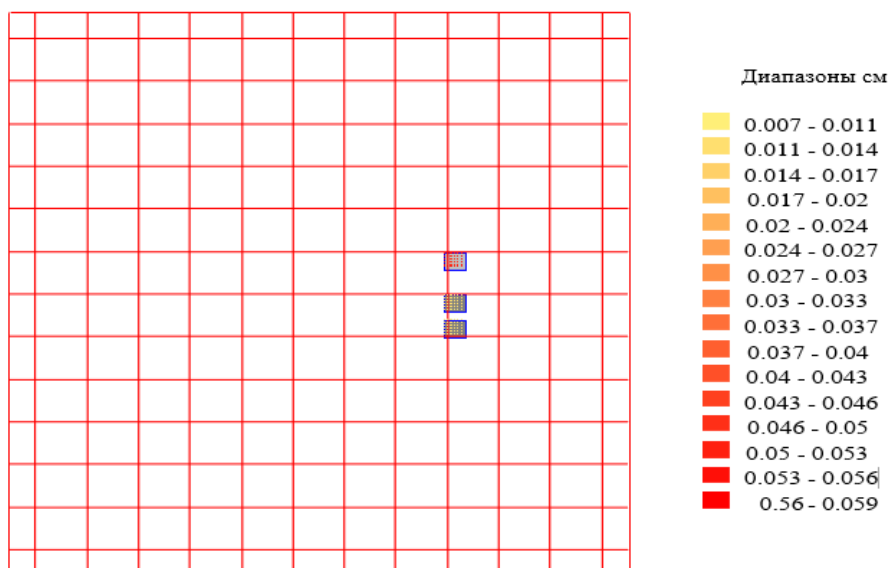


Рис. 4. Коэффициенты осадка

Результаты расчета фундамента роторной сушилки:

- минимальное значение коэффициента постели – 9064.899 т/м<sup>3</sup>;
- максимальное значение коэффициента постели 58739.351 т/м<sup>3</sup>;
- среднее значение коэффициента постели 20865.887 т/м<sup>3</sup>;
- среднеквадратичное отклонение коэффициента постели 0.013;
- отметка сжимаемой толщи определялась в точке с координатами (40.717;33.779) м;
- нижняя отметка сжимаемой толщи в данной точке 98.9 м;
- толщина слоя сжимаемой толщи в данной точке 2.6 м;
- максимальная осадка 0.059 см;
- средняя осадка 0.023 см;
- крен фундаментной плиты 0.003 град;
- суммарная нагрузка 25.833 т;
- объем извлеченного грунта 4.715 м<sup>3</sup>.

Далее был произведен расчет осадок основания роторной сушилки с разной массой осушаемого материала. На рисунке 5 показан график зависимости максимальной осадки фундамента от веса осушаемого материала/ роторной сушилки.

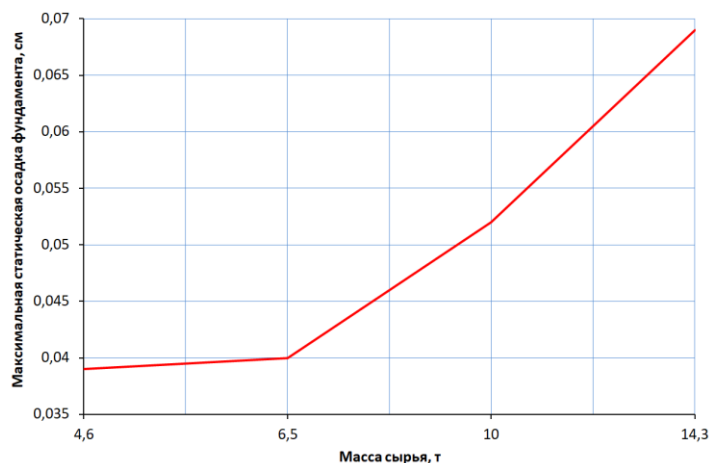


Рис. 5. Максимальная осадка роторной сушилки при разных весах сушилок

## **Заключение**

Таким образом, выполнены расчеты основания фундамента роторной сушилки Zhengke на статическую нагрузку с использованием программных продуктов SCAD Office + SCAD Кросс. Условия отсутствия предельного состояния первого и второго рода выполняются.

При расчете осадок основания роторной сушилки с разной массой осушаемого материала все результаты расчета находятся в рамках допустимых значений. При массе осушаемого материала до 6,5 т зависимость максимальной осадки фундамента носит линейный характер, а при дальнейшем увеличении веса имеет вид параболы. Полученные данные показывают стабильность фундамента при различной разгрузке роторной сушилки Zhengke.

## **Список использованных источников**

1. Долгова А.Н., Мыскин Г.А. К вопросу о диагностики фундамента сушильных камер // Collection of articles IV International Scientific and Practical Conference «Scientific research: interdisciplinarity and continuity». – Melbourne: ICSRD «Scientific View», 2024. – С. 4–8.
2. Долгова А.Н., Мыскин Г.А. Нагрузки на фундамент сушильной камеры // Сборник статей XIV Международ. научно-практич. конф. «Актуальные аспекты научных исследований». – Москва : Международный научно-издательский центр «Твоя наука», 2024. – С. 16–19.
3. СНиП 2.02.05-87 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками» // М. : Госстрой СССР, 1988. – 36 с.

## К ВОПРОСУ О ВНЕДРЕНИИ СИСТЕМ АСКУЭ В МНОГОКВАРТИРНЫЕ ДОМА

*Афанасьева С.В.<sup>1</sup>, Гаврилов В.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО КГЭУ, студентка, e-mail: [sonyaafanaseva@gmail.com](mailto:sonyaafanaseva@gmail.com)

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО КГЭУ, к.т.н., доцент, e-mail: [2s19gavr@gmail.com](mailto:2s19gavr@gmail.com)

### Введение

Целью работы является анализ уровней автоматизированных систем контроля и учета электрической энергии. Приводятся нормативные и законодательные акты, регламентирующие необходимость установки «умных» счётчиков. Определены задачи данных систем и достоинства их внедрения.

### Описание алгоритма

С июля 2020 года ресурсоснабжающие организации обязаны устанавливать «умные» счётчики в многоквартирных домах. Все заботы, связанные с учётными приборами электроэнергии и сопутствующим оборудованием, включая их закупку, установку, замену и введение в эксплуатацию, теперь лежат на гарантирующих поставщиках и сетевых компаниях [1].

Если говорить об учёте электрической энергии, то необходимо выделить, что во всех многоквартирных домах, где присутствует общедомовое имущество, ведение учёта и обслуживания счётчиков потребления электрической энергии возложено на энергосбытовую организацию – в Республике Татарстан это Татэнергосбыт. Также не стоит и забывать про собственников частных домов: за обслуживание электрического счётчика и учёт сбываемой электроэнергии отвечает сетевая организация – в случае Республики Татарстан – это АО «Сетевая компания».

Важно отметить, что индивидуальные приборы учёта у потребителя должны соответствовать требованиям: подключение к интеллектуальной системе учёта и иметь возможность к минимальному функционалу в экосистеме интеллектуального учёта. В [2] представлены требования к функционалу таким систем и рассмотрена концепция установки, обслуживания и учёта в многоквартирном жилом фонде.

В настоящий момент важнейшей проблемой в области электроэнергетики является энергосбережение, задачи которого является экономия средств современного предприятия. Так как в условиях развития рынка каждый генерируемый мегаватт или киловатт в зависимости от времени суток, графика нагрузки, логистики топлива и ремонта оборудования формируется стоимость электрической энергии – тарифа, который напрямую закладывается в себестоимость продукта и итоговую стоимость продукта. Важно отметить, что чем выше стоимость продукта, тем сложнее ему конкурировать на рынке.

Чтобы решить проблему учёта и снижения коммерческих потерь электроэнергии применяют автоматизированные системы коммерческого учёта электроэнергии (АСКУЭ). Помимо этого, необходимо внедрять энергоресурсосберегающие технологии при генерации, распределении и потреблении электроэнергии.

АСКУЭ как техническое решение, позволяющее осуществлять качественный учёт потребления электроэнергии с коммерческим учётом, достаточно широко распространено в настоящее время. Определим задачи автоматизированных систем коммерческого учёта электроэнергии:

– контроль работы взаимосвязанного оборудования. Взаимосвязанное оборудование работает в системе обмена данных SCADA. В данную систему входят следующие компоненты: счётчик-коммуникатор; центральный управляющий сервер; счётчики (рис.1);

– обеспечение сбора, расчёта, обработки и сохранения информации для дальнейшего коммерческого учёта потреблённого ресурса покупателем.

Важно отметить, что на многих предприятиях функционируют целые комплексы АСКУЭ – это позволяет наиболее тщательно следить за потреблением электроэнергии, с целью формирования наиболее точного графика нагрузки предприятия.

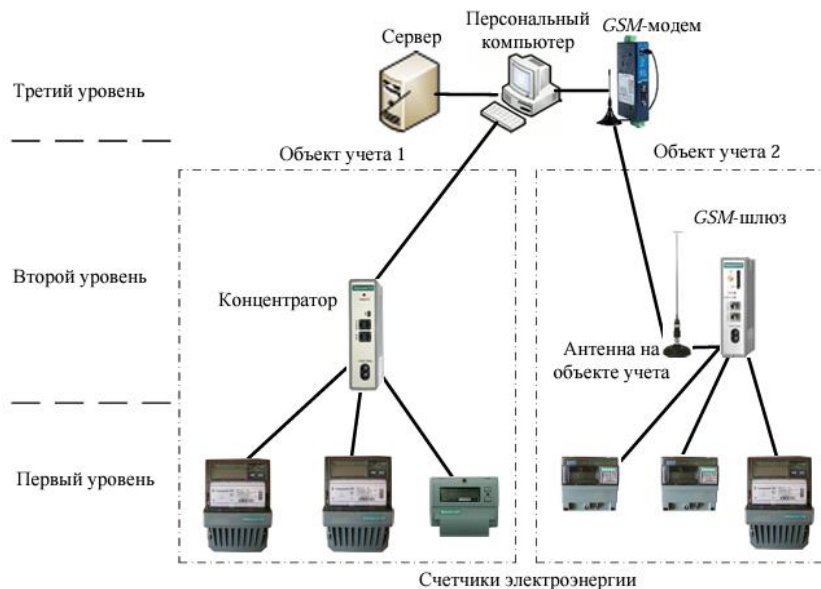


Рис. 1. Структура АСКУЭ

С целью наиболее точного определения функционала системы АСКУЭ выделим следующую иерархию:

- первый уровень: приборы учёта электрической энергии с возможностью интеграции к интеллектуальным системам учёта. Такими приборами могут быть: счётчики электрической энергии, трансформаторы тока и напряжения, подключённые к вторичным цепям. Этот уровень проводит измерения, осуществляет регистрацию скачков напряжения и изменение токовой нагрузки. Функция хранения и первичной обработки информации позволяет передавать унифицированный пакет информации на высшие уровни, которые отвечают за сбор и передачу информации на сервер [3];

- второй уровень: данный уровень представляет собой подсистему сбора данных с нескольких информационных каналов. Информация может передаваться посредством подключения к устройству сбора по интерфейсам Ethernet, RS-232 или RS-485;

- третий уровень: высший уровень иерархии системы АСКУЭ. Чаще всего главным расчётным комплексом и универсальным хранилищем данных является сервер. Также к третьему уровню могут относиться следующие устройства: системы автоматизированного рабочего места, системы обеспечения единого времени для наиболее точной фиксации событий, различное программное обеспечение. Важно отметить, что данный уровень может совмещать в себе все вышеперечисленные уровни. Помимо этого, данный уровень системы оснащается самым совершенным программным обеспечением, позволяющем обеспечивать максимальную информационную безопасность для информационно-вычислительного комплекса.

Активное внедрение таких систем обуславливается организацией в Российской Федерации оптового рынка электроэнергии. В самом начале АСКУЭ использовалась только для осуществления купли или продажи электроэнергии, но не использовалась функция регулирования режимов электроснабжения потребителя с целью энергосбережения. В настоящее время внедряемые АСКУЭ имеют три уровня:

Первым уровнем можно назвать узлы учета питьевой, хозяйственной или технической воды, счётчики электроэнергии, преобразователь расхода, всевозможные датчики. Этот измерительный уровень создаётся на базе унифицированных измерительных средств, которые обеспечивают бесперебойное функционирование без присутствия обслуживающего персонала.

На втором уровне (связующем) система может содержать в себе просто коммутаторы или концентраторы. Данный уровень сбора выполняет задачу структуризации и подготовки информации и передачи её на автоматизированное рабочее место или сервер с предварительной обработкой данных.

Третий уровень производит операции сбора, обработки и хранения информации со всех узлов, затем предоставляется регламентированный доступ к оперативной и накопленной информации всем пользователям системы. В составе третьего уровня могут быть: сервера баз данных; фирменное программное обеспечение; средства приема-передачи данных (рис. 2)

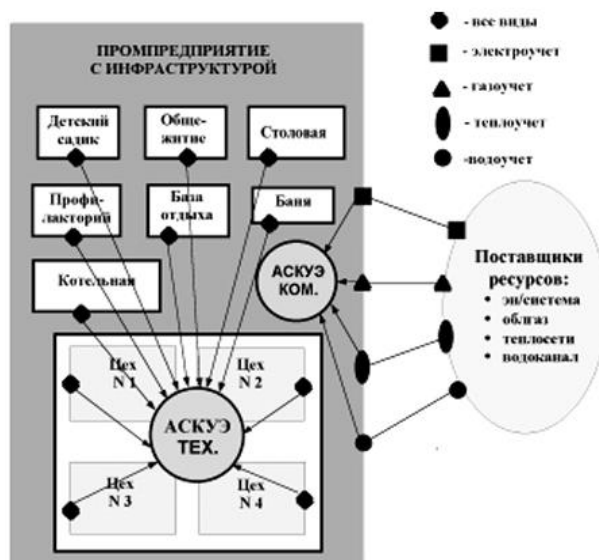


Рис. 2. Структура АСКУЭ для коммерческого и технического учета электроэнергии

Если говорить о преимуществах АСКУЭ в энергетических системах, то стоит выделить, что данные системы смогут позволить экономить энергоресурсы и осуществлять их правильное распределение по потребителям; возможность внедрения тарифа стоимости электроэнергии в зависимости от времени суток; возможность обрабатывать и хранить информацию с возможностью внедрения предиктивной аналитики; унифицированный вид получаемой информации оператором; отсутствие необходимости личного присутствия оператора при сборе показаний и информации [3].

### Заключение

Подводя итоги, можно сказать, что внедрение АСКУЭ позволяет осуществлять наиболее точный расчёт потребления коммунальной услуги, в нашем случае – электроэнергии. Такие системы полезны в жилищно-коммунальных хозяйствах, на крупных производствах. Помимо этого, системы АСКУЭ могут осуществлять слежение за исправностью счётчиков, каналов связи, трансформаторов тока или напряжения. Именно поэтому внедрение таких систем позволяет снизить вероятность аварийности и возникновения конфликтов с потребителем во время спорных ситуаций о потребляемом ресурсе.

### Список использованных источников

1. Постановление Правительства РФ «Правила предоставления коммунальных услуг гражданам» от 23 мая 2006 г. № 307.
2. Об электроэнергетике: Федеральный закон от 26 марта 2003 г. №35-ФЗ // Консорциум кодекс: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс] – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901856089> (дата обращения: 04.10.2024).
3. Применение АСКУЭ как современного способа учета и анализа энергоресурсов / А.А. Кубаевский, С.Е. Михайлова, Е.А. Мухамедрахимова, А.В. Точилкин // Научные исследования: от теории к практике. – 2015. – Т. 2, № 4 (5). – С. 42–45.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ РАДИОМЕТКИ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ РАДИОСЕНСОРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЭА

*Никольшин М.Ю.<sup>1</sup>, Бойков К.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> МИРЭА, ассистент кафедры РПТ ИРИ РТУ, e-mail: mihail-n97@yandex.ru

<sup>2</sup> МИРЭА, профессор кафедры РПТ ИРИ РТУ, e-mail: nauchnyi@yandex.ru

## **Введение**

В последние годы широкое распространение приобрели интегрированные электронные системы, в которых в единую сеть объединены электронные устройства (ЭУ) различного назначения – промышленная автоматика, «умный дом» и другие. Одной из задач, возникающих в рамках построения и эксплуатации таких систем, является идентификация подключенного к ней устройства. В случае наличия цифрового интерфейса у устройства – это не представляет сложностей, поскольку каждое из них содержит записанный при программировании уникальный идентификационный номер и однозначно определяется в системе. Однако, если устройства аналоговые – датчики физических величин, источники питания, усилители, генераторы, определение производится оператором системы по назначению устройства вручную. В работе предлагается способ радиочастотной идентификации устройства, основанный на генерации сигнального радиопрофиля (СРП) контактной радиометкой (КР), имеющей априорную однозначную взаимосвязь с определенным электронным устройством. Идентификацию при помощи КР возможно проводить при помощи программы на ЭВМ без участия человека.

Цель работы. Описание принципа генерации сигнала КР, получение при помощи компьютерного SPICE-моделирования корректного идентификационного сигнала от КР в условиях генерации сигнала идентифицируемым ЭУ, проведение сигнального анализа идентификационного колебания посредством программы на ЭВМ.

Результаты. В ходе моделирования в среде LTSpice получен СРП моночастотной КР, проведен его анализ при помощи программы на языке C++. Получены отклонения 4,9 % по частоте колебания и 10,1 % по времени затухания колебания между заданным и смоделированным СРП.

Практическая значимость. Рассмотренный в статье способ идентификации ЭУ применим в объединенных системах различных электронных приборов, не имеющих собственного цифрового интерфейса и предусмотренных разработчиком средств идентификации.

Ключевые слова: контактная радиометка, сигнальный радиопрофиль, радиосенсорная идентификация.

## **Генерация СРП и принципы идентификации**

Любое ЭУ содержит в своем составе активные и реактивные сопротивления. Они могут быть сосредоточенными (дрессели, конденсаторы и резисторы), либо же паразитными (индуктивности проводов и выводов, межвитковые емкости, емкости  $p-n$  переходов, сопротивления выводов и печатных дорожек и так далее). Данные сопротивления при соединении выводов ЭК согласно принципиальной электрической схеме образуют колебательные контуры различной конфигурации. При подаче питания на ЭУ возбуждаются колебания, параметры которых определяют техническое состояние ЭУ [1], а сама суперпозиция колебаний представляет собой СРП. Регистрацию СРП можно проводить при помощи низкоомного шунта, включенного в цепь питания ЭУ [2].

Анализ СРП можно проводить не только для диагностики технического состояния ЭУ, но и для его идентификации, то есть определения подключаемого устройства. В этом случае необходимо использование широкополосного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) с высокой частотой дискретизации, так как частотные составляющие СРП ввиду ничтожности паразитных реактивностей лежат в гигагерцовой области. Если для проведения диагностики использование высокочастотного АЦП безусловно необходимо для анализа генерируемых самим ЭУ колебаний, то для задач идентификации ЭУ, с целью понижения частоты дискретизации предлагается использование включенных параллельно ЭУ контактных радиометок (КР), являющихся последовательным RLC-контуром с резонансной частотой в области единиц-десятков МГц, что сильно упрощает требования к частоте дискретизации АЦП. Такую КР можно считать моночастотной, поскольку она имеет единственную частоту резонанса. Мультичастотной КР будет в случае применения нескольких параллельных контуров. В данной работе будет рассматриваться принцип анализа СРП, порожденного моночастотной КР. Принципиальная схема моночастотной КР приведена на рис. 1.

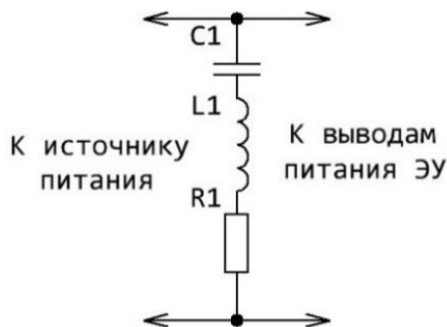


Рис. 1. Схема контактной радиометки

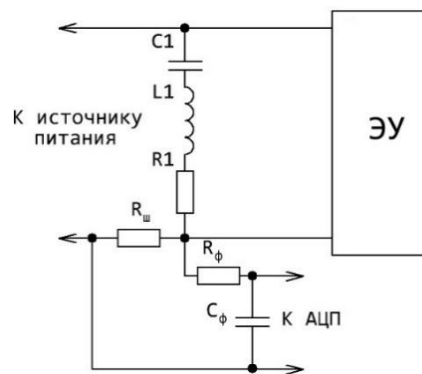


Рис. 2. Подключение контактной радиометки, токоизмерительного шунта и фильтра

Резонансная частота  $f_{рез}$  (Гц) контура КР определяется значениями  $C1$  и  $L1$ , время затухания  $t_3$ , за которое колебание уменьшит свою амплитуду в 10 раз (с) – сопротивлением  $R1$ . Данные параметры являются определяющими для КР. Они могут быть вычислены аналитически [3], получены экспериментально или же посредством моделирования.

СРП, генерируемый КР, неизбежно будет накладываться на СРП самого ЭУ. Для исправления этого явления целесообразно подключать АЦП через фильтр нижних частот (ФНЧ) на частоту среза порядка  $0,1 \dots 0,3 \times f_{рез}$ , который будет отсекал нежелательный для задачи идентификации собственный СРП ЭУ. Возможно также применение цифровой фильтрации при анализе СРП, но даже в этом случае желательно ставить RC-цепь во избежание перегрузки входа АЦП нежелательными помехами, генерируемыми в самом ЭУ. На рис.2 приведена схема подключения КР к ЭУ.

Сопротивление токоизмерительного шунта  $R_{ш}$  выбирается в диапазоне до 0,1 Ом исходя из разрешающей способности АЦП. Амплитуду колебания можно варьировать путем изменения отношения емкости и индуктивности: при сохранении одной и той же  $f_{рез}$  амплитуда будет выше в случае большой емкости и малой индуктивности. Время затухания  $t_3$  является функцией номинала  $R1$  [3].

Колебание, полученное с КР, оцифровывается при помощи АЦП и исследуется методами спектрального [3], спектрально-временного [4] преобразования, или иными методами, позволяющими установить параметры колебания и их соответствие записанных в базе данных параметров колебаний КР.

### Моделирование контактной радиометки

Для определения возможности использования КР для идентификации ЭУ было проведено схемотехническое моделирование в среде LTSpice XVII. Использовалась КР с  $f_{рез} = 8,7612$  МГц и эквивалентная схема ЭУ, построенная из RLC-компонентов. Схема, используемая для моделирования, приведена на рис. 3.

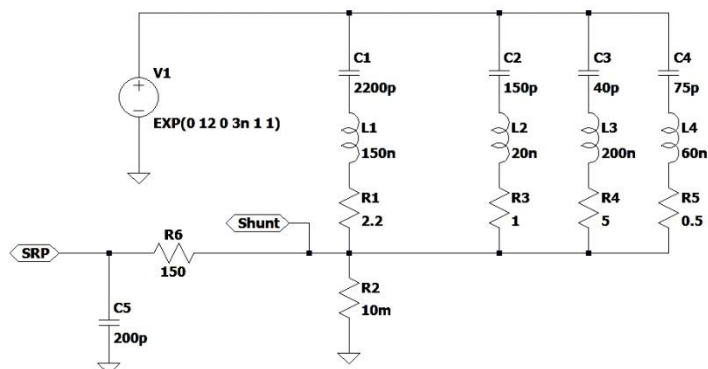


Рис. 3. Схема симуляционной модели в LTSpice

На элементах  $C1R1L1$  собрана КР с  $f_{рез} = 8,761$  МГц и  $t_3 = 345$  нс. Схема замещения, исследуемого ЭУ построена на компонентах  $C2-C4$ ,  $L2-L4$  и  $R3-R5$ . Резистор  $R2$  – токоизмерительный шунт, на

элементах R6C5 построен ФНЧ. Источником питания схемы выступает идеальный источник напряжения которого с момента времени  $t=0$  (с) начинает возрастать по экспоненте от 0 до 12 В. Время нарастания напряжения питания от 0 % до 90 % составляет 6,9 нс. Моделирование выполняется при помощи директивы `.tran 0 1500n 0 1n uic` (длительность симуляции 1,5 мкс, время старта сохранения данных 0 с, максимальный шаг симуляции 1 нс, включено моделирование переходных процессов). На рис. 4 представлены диаграммы напряжений и токов в данной схеме:

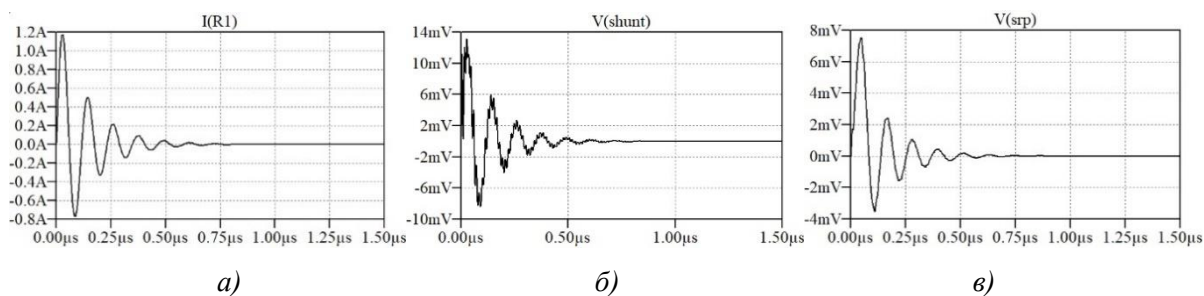


Рис. 4. Симуляционные диаграммы токов и напряжений в схеме с КР  
 а) ток через резистор R1 в схеме КР, б) напряжение в точке «Shunt» (до фильтрации),  
 в) напряжение в точке «SRP» (после фильтрации)

Ток через КР имеет синусоидальную форму, но в точке «Shunt» он суммируется с токами, генерируемыми самим ЭУ, следствием чего является искажение его формы. При помощи фильтрации в точке «SRP» удалось обеспечить форму напряжения, близкую к форме тока, протекающего через КР.

#### Анализ колебания, порожденного контактной радиометкой

Оциллограмма, представленная на рис.4, в была выгружена из LTSpice в виде данных текстового формата, дальнейший анализ проводился при помощи консольного приложения, написанного на языке C++. Всего выгружено 150 точек, что при длительности 1,5 мкс соответствует частоте дискретизации  $f_s = 100$  МГц. Распределение точек дискретизации по временной оси – равномерное, что соответствует данным, полученным от реального АЦП с фиксированным временем аналого-цифрового преобразования. Данные симуляции внутри программы представлены как одномерный массив значений типа double.

Первым этапом проверки являлось установление частоты колебания. Для корректного спектрального Фурье-анализа в рассматриваемом случае точек недостаточно, отсюда определение частоты проводилось через установление периода колебания  $T$ . Период находился при помощи цикла `for()`, внутри которого при помощи функции `if()` выполнялось сравнение значений  $i$ -ой и  $i - 1$ -ой выборки с целью нахождения наибольших значений. Итоговый период колебания определяется как произведение  $f_s$  на количество точек  $n$  между наибольшими значениями. В рассматриваемом случае  $n = 12$ ,  $f_s = 100$  МГц, следовательно  $T = 120$  нс, а вычисленная частота колебания КР  $f_{рез} = 8,333$  МГц.

Время затухания находилось аналогично при помощи цикла `for()` и функции `if()`. Предварительно было найдено значение амплитуды первого максимума, составившее 7,0 мВ, следовательно, искомым значением  $t_3$  было 0,7 мВ. Получено абсолютное значение напряжения колебания, участки между максимумами интерполированы прямыми линиями. Затем при помощи функции `if()`, сравнивая значения интерполированных участков с заданным уровнем 0,7 мВ, было найдено значение  $t_3 = 317$  нс.

Заданные и полученные в результате моделирования параметры СРП КР сведены в Таблицу 1.

Таблица 1

Параметры СРП КР

Тип значения	Заданное	Смоделированное	Отклонение
1	2	3	4
$f_{рез}$ , МГц	8,761	8,333	4,9 %
$t_3$ , нс	345	317	10,4 %

Полученные отклонения позволяют сделать выводы для подбора параметров КР при использовании их в системах с обработкой, аналогичной представленной. Параметры КР должны отличаться друг от друга не менее чем на представленные в четвертом столбце значения.



## Конструкция контактных радиометок

Конструкция КР ввиду простоты схемы является тривиальной. Требования к климатическому исполнению аналогичны требованиям идентифицируемого ЭУ. В случае жестких климатических условий следует рассчитать отклонения  $f_{рез}$ , которые могут возникнуть из-за температурных коэффициентов примененных элементов, в первую очередь это касается конденсатора и резистора. Размещение КР – как можно ближе к токоизмерительному шунту с целью сокращения паразитных индуктивностей. Используемые в КР компоненты должны выдерживать ток, возникающий при генерации СРП. Однако, ввиду малого порядка значений номиналов всех элементов, это не представляет сложностей. Возможно применение керамических конденсаторов, например, серий К10-17, К10-83, К10-84, резисторов С2-33, МЛТ, Р1-8, Р1-12 или аналогичных импортных. Конденсаторы должны быть термостабильными, группы температурной стабильности емкости не хуже М750. Индуктивность из-за ее малого значения возможно выполнить без сердечника, что резко поднимет ток ее насыщения и избавит от колебаний индуктивности при изменении внешних параметров. Намотка такой катушки индуктивности возможна проводом ПЭТВ-2 или аналогичным.

## Заключение

В работе представлен вариант автоматизированной идентификации электронного устройства при помощи контактной радиометки. Радиометка подключается к проводникам питания устройства, идентификация происходит за счет анализа колебания, генерируемого радиометкой при включении устройства на функционирование. Во время работы ЭУ радиометка либо вовсе не потребляет энергию (при питании от постоянного тока), либо потребляет ничтожное ее количество (при питании от сети 50 или 400 Гц). Проведено моделирование генерации радиометкой сигнального радиопрофиля при помощи симулятора LTSpice и его обработка при помощи приложения на языке C++. Получены отклонения 4,9 % по частоте и 10,1 % по времени затухания между заданными при SPICE-моделировании параметрами СРП КР и полученными в результате программного расчета на основе полученных мгновенных значений напряжения СРП.

Среди вариантов развития данной темы можно выделить исследование КР с несколькими контурами (мультичастотных КР), поскольку для группы идентифицируемых ЭУ, частоты радиометок будут перекрываться. Анализ СРП, принимаемого от КР, возможно проводить при помощи частотно-временного преобразования, с дальнейшей статистической оценкой экстрагированных параметров, что открывает новые перспективы в контактной радиосенсорной идентификации ЭУ посредством КР.

## Список использованных источников

1. Бойков К.А., Костин М.С., Куликов Г.В. Радиосенсорная диагностика целостности сигналов внутрисхемной и периферийной архитектуры микропроцессорных устройств // Российский технологический журнал. – 2021. – № 9. – С. 20–27. – DOI: <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-4-20-27>
2. Никольшин М.Ю., Бойков К.А. Контактная регистрация сигнального радиопрофиля электронного устройства при питании от сети переменного тока // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2024. – Т. 18, № 8. – С. 21–33.
3. Котельников В.А., Николаев А.М. Основы радиотехники, часть 1. М. : Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1950. – 371 с.
4. Вашкевич М.И., Азаров И.С. Сравнение частотно-временных преобразований: Фурье анализ, вейвлеты и банки фильтров на основе фазового преобразования // Цифровая обработка сигналов. – 2020. – № 2. – С. 13–26.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛИКА СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА НА БАЗЕ КРЕМНИЕВОГО ФОТОУМНОЖИТЕЛЯ В ИНСТРУМЕНТАРИИ GEANT4

Чумаков Д.К.<sup>1</sup>, Флусова Д.С.<sup>2</sup>, Бикметов Н.Р.<sup>2</sup>, Гоголев А.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Томский политехнический университет, ИШФВП, аспирант гр. А2-15, e-mail: dkc1@tpu.ru

<sup>2</sup> Томский политехнический университет, ИШФВП, аспирант гр. А4-15

<sup>3</sup> Томский политехнический университет, НОЦ ПИ, и.о. руководителя

### Введение

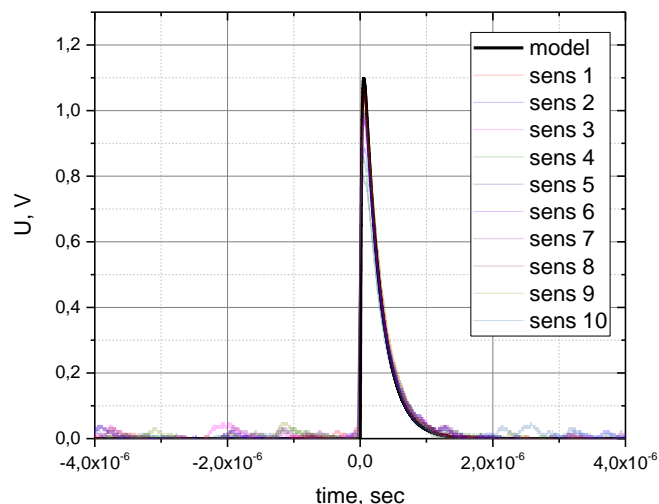
В настоящее время традиционные вакуумные ФЭУ активно заменяют на кремниевые фотоумножители. Область применения кремневых фотоумножителей практически не ограничена. Например, существует сканер позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ), использующий в качестве чувствительной части ВГО кристаллы и SiФЭУ в качестве фотоумножителей [1]. Преимущества кремневых фотоумножителей заключаются в их компактности, малом энергопотреблении, нечувствительности к магнитным полям. Однако применение кремниевых фотоумножителей осложняется проблемой влияния тепловых шумов на отклик фотоумножителя. На конечный отклик может влиять множество факторов, поэтому проектирование будущих детекторных сборок следует сопровождать моделированием и прогнозом отклика будущего детектора.

В текущей работе использовался кремневый фотоумножитель EQR15 11-6060D-S, созданный на основе технологии с эпитаксиальными гасящими резисторами. Постоянная времени, зависящая от емкости микроячейки и сопротивления резистора гашения, определяется только характеристиками чипа [2].

### Описание алгоритма

Моделирование осуществлялось в программном пакете GEANT4 с подключенной библиотекой моделирования оптических процессов в материалах *G4OpticalPhysics*. Предварительная отработка алгоритмов расчета функции отклика и набора спектра была проведена в ПО Wolfram Mathematica. Обработка данных производилась с помощью математического пакета CERN ROOT. Экспериментальная установка для верификации модели состоит из 10 кремневых фотоумножителей размером 6x6 мм<sup>2</sup> производства NDL (модель EQR15 11-6060D-S), находящихся в оптическом контакте со сцинтилляционными кристаллами LaBr<sub>3</sub>, помещенных в светоизолированный короб с изотопным источником ОСГИ-Р Am-241. Сигнал с выхода фотоумножителей фиксировался с помощью осциллографа Tektronix MSO4, откуда передавался в оцифрованном виде на компьютер для последующей обработки.

Моделирование отклика кремниевого фотоумножителя осуществлялось на основе функции отклика сенсора, представленной в аналитическом виде для случая регистрации единичного сцинтилляционного фотона. В инструментарии GEANT4 моделировалась регистрация  $\gamma$ -квантов от источника Am-241 в объеме сцинтилляционного кристалла. Для сцинтилляционных фотонов определялось время высвечивания в кристалле и время переноса от точки регистрации  $\gamma$ -кванта до чувствительной области кремниевого фотоумножителя с учетом процессов переотражения и поглощения фотонов в кристалле. Время высвечивания было определено экспериментально из усредненных осциллограмм для каждого детектора, после чего было использовано в качестве входных данных модели. Суммарный отклик, аналогичный экспериментальному, был получен при сложении единичных откликов от всех сцинтилляционных фотонов с учетом времени их попадания на чувствительную область фотоумножителя. Для перевода отклика из размерности тока (мкА) в размерность напряжения (мВ), амплитуда итогового отклика была умножена на величину нагрузочного сопротивления (1 кОм). В результате был смоделирован отклик кремниевого сенсора в сборке с кристаллом LaBr<sub>3</sub> с учетом уширения сигнала согласно параметрам отдельного детектора. Получены экспериментальные отклики от десяти сенсоров, сравнение модели и эксперимента приведены на рисунке 1. В дальнейшем был реконструирован спектр. Уширение на линии 60 кэВ от Am-241 в модели согласуется с уширением на реальном спектре. Исходя из результатов моделирования было вычислено наилучшее допустимое разрешение порядка 20 % на линии 60 кэВ для каждого сенсора по отдельности. Для экспериментальной сборки кремневых ФЭУ итоговое разрешение составило 28 % на линии 60 кэВ.



*Рис. 1. Усредненный отклик для 10 сенсоров и разработанной модели при регистрации  $\gamma$ -квантов с энергией 60 кэВ*

### **Заключение**

Создана модель, предсказывающая отклик детектора. Модель включает в себя кристалл  $\text{LaBr}_3$  со средним временем высвечивания порядка 25 нс, кремниевый фотомножитель EQR15 11-6060D-S. Использование аналитической функции отклика позволило получать сигнал при регистрации ионизирующего излучения, максимально приближенный по форме и амплитуде к экспериментальному. Модель с использованием аналитической параметризации может применяться для исследования достижимого разрешения сборок из нескольких детекторов в различных конфигурациях геометрии их расположения относительно источника ионизирующего излучения, а также с учетом собственных характеристик сцинтилляционных кристаллов. Реконструирован спектр, соответствующий регистрации излучения  $\gamma$ -квантов с энергией 60 кэВ, смоделированный спектр согласуется с экспериментальным спектром отдельного сенсора. Разрешение единичного сенсора в модели для линии 60 кэВ составило 19,5 %, в эксперименте результат 20,8 %. Отклонение модели от эксперимента объясняется тем, что при моделировании учитывалась только одна, наиболее интенсивная линия из спектра  $\text{Am-241}$ . Малый вклад линий характеристического рентгеновского излучения  $\text{Am-241}$  оказал влияние на форму спектра в области ниже 60 кэВ и вызвал уширение пика в экспериментальном спектре.

### **Список использованных источников**

1. Turkington T. Performance of a BGO PET/CT with higher resolution PET detectors. Т. 4 / Т. Turkington, J.J. Williams, J.W. Wilson, [и др.] // Journal of Approximation Theory. – 2005. – С. 1893–1894.
2. Zhao T., Progresses of silicon photomultiplier technologies with epitaxial quenching resistors: New Developments In Photodetection 2017 / R. Preston, J. Jiang [и др.] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2018. – Т. 912. – С. 252–254.

# ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛНОСВЯЗНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ПРЕДСКАЗАНИЕ ВЫХОДНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ С ОБМОТКОВ ТРАНСФОРМАТОРА

Михайлович М.А.<sup>1</sup>, Мамонова Т.Е.<sup>2</sup>, Леонов С.В.<sup>3</sup>

e-mail: rapirok2008ya@gmail.com

<sup>1</sup> Томский политехнический университет, ИШИНЭС, группа 6ВМ31ПИШ

<sup>2,3</sup> Томский политехнический университет, ИШИНЭС

## Введение

Целью данной работы являлась оценка влияния параметров полносвязной нейронной сети, а именно выбор функции активации и количества нейронов в скрытом слое, на предсказание выходных значений токов и напряжений с обмоток силового трехобмоточного трансформатора.

Для выполнения поставленной цели были собраны данные из имитационной модели, собранной в Simulink и далее проводились серии экспериментов на созданной модели нейросети, с изменением тех самых параметров, указанные выше.

В результате экспериментов проанализирован процесс обучения нейронной сети при различных параметрах, также при помощи результатов тестирования нейронной сети сделан вывод при каких параметрах, сеть работает с наименьшим значением ошибки.

## Описание алгоритма

Вначале создаются наборы данных при помощи имитационной модели в Simulink. Данные состоят из значений фазных токов и напряжений для нескольких обмоток трансформатора. Сбор данных производится для нескольких режимов трансформатора, холостого хода и короткого замыкания.

Структура нейронной сети состоит из 6 нейронов на входе нейронной сети, функция активации ReLu. Скрытый слой будет меняться динамически в зависимости от эксперимента в диапазоне от 6 до 10 нейронов, функция активации также будет изменяться для каждого из проводимого эксперимента, будем использовать сигмоиду и гиперболический тангенс. На выходе нейронной сети будет 3 нейрона, функция активации ReLu. Основной метрикой для обучения нейронной сети будет использована Mean Square Error (MSE):

$$\sigma = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение,  $x_i$  – каждое наблюдаемое значение признака,  $x$  – среднее арифметическое значение,  $n$  – количество наблюдений.

Используя данную структуру нейронной сети и меняя параметры скрытого слоя под каждую итерацию, проводим серию экспериментов, в результате, которых получаем предсказание токов и напряжений для каждого режима работы трансформатора соответственно.

## Результаты экспериментов

В результате серии экспериментов для опыта холостого хода получены следующие графики, представленные на рис. 1 и 2.

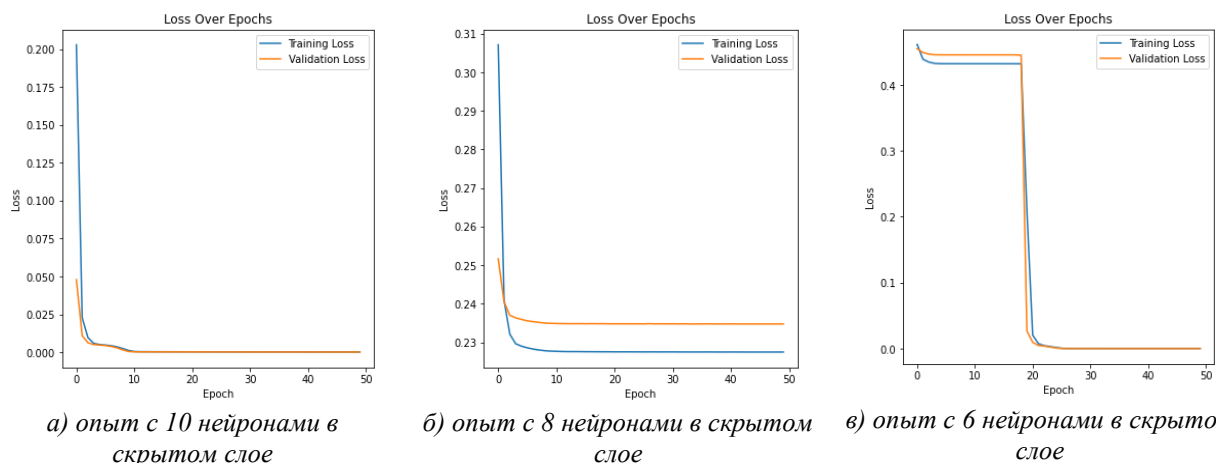


Рис. 1. Графики обучения модели нейронной сети с функцией активации tanh

На графике рис. 1, а видно, что обучение нейронной сети заканчивается на 10 эпохе и далее значение ошибки обучения не меняется на своём протяжении. Кривые обучения и валидации совпадают друг с другом. Ошибка обучения составляет 0,000332. На графике рис. 1, б, обучение заканчивается на 10 эпохе, при этом присутствует расхождение между кривыми валидации и обучения. Ошибка обучения при этом существенно больше и составляет 0,227. На графике рис. 1 в), видно, что обучение нейронной сети заканчивается на 27 эпохе, кривые валидации и обучения совпадают, ошибка при этом составляет 0,000241.

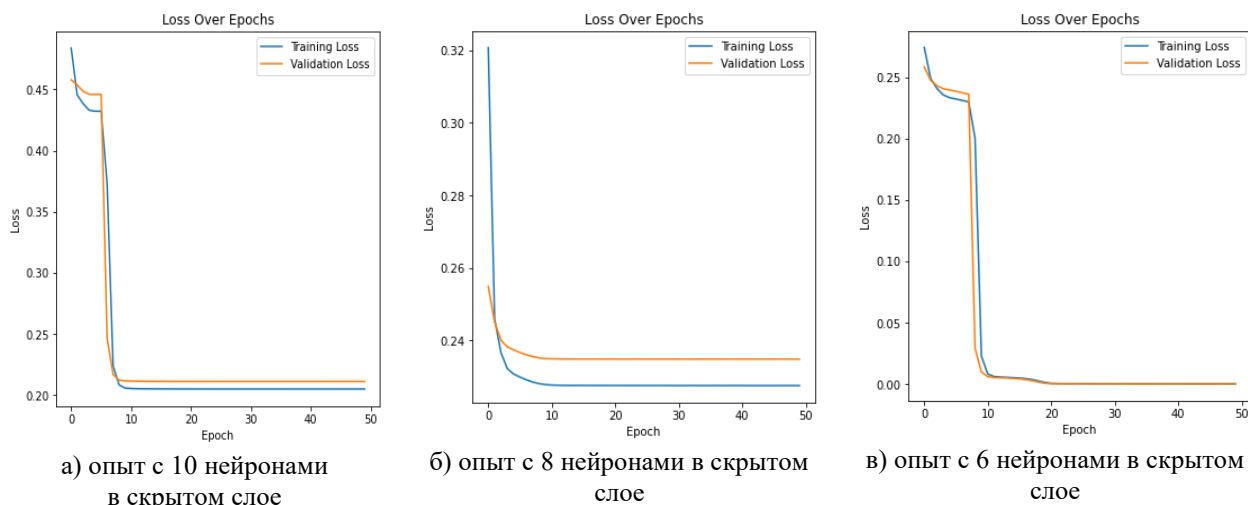


Рис. 2. Графики обучения модели нейронной сети с функцией активации sigmoid

На графике рис. 2, а видно, что обучение нейронной сети заканчивается на 10 эпохе и далее значение ошибки обучения не меняется на своём протяжении. Кривые обучения и валидации практически совпадают друг с другом. Ошибка обучения составляет 0,22. На графике рис. 2, б обучение заканчивается на 9 эпохе, при этом присутствует расхождение между кривыми валидации и обучения. Ошибка обучения составляет 0,2276. На графике рис. 2, в видно, что обучение нейронной сети заканчивается на 21 эпохе, кривые валидации и обучения совпадают, ошибка при этом составляет 0,000354.

Также укажем относительные погрешности между предсказанием и эталонными значениями фазных напряжений на обмотке трансформатора в таблице 1.

Таблица 1

Результаты ошибки обучения модели нейронной сети для опыта XX

	Функция активации – tanh, 10 нейронов	Функция активации – tanh, 8 нейронов	Функция активации – tanh, 6 нейронов	Функция активации – sigmoid, 10 нейронов	Функция активации – sigmoid, 8 нейронов	Функция активации – sigmoid, 6 нейронов
Ошибка нейронной сети в процессе обучения	0,000332	<b>0,227</b>	0,000241	<b>0,22</b>	<b>0,2276</b>	0,000354
Погрешность для U <sub>a</sub> _CH	0,068463	0,06629	0,064354	0,069012	0,066973	0,066244
Тест №1	0,057646	0,055078	0,053926	0,055932	0,0547	0,05326
Тест №2	0,055123	0,055057	0,053805	0,056424	0,054508	0,054259
Тест №3	0,068462	0,06629	0,064353	0,069012	0,066973	0,066244
Тест №4	0,062027	0,059783	0,058038	0,06294	0,060363	0,060058
Тест №5						
Погрешность для U <sub>b</sub> _CH	0,06436	0,055078	0,053926	0,065821	0,283393	0,064758
	0,050387	0,283393	0,057453	0,083913	0,283393	0,056865
	0,55414	0,283393	0,053577	0,058469	0,283393	0,056697

	0,6436	0,283392	0,064398	0,065821	0,283392	0,064758
	0,057975	0,283393	0,058289	0,058964	0,283393	0,058316
Погрешность для $U_c_{CH}$	0,066967	0,066921	0,06622	0,284657	0,067082	0,066588
	0,05945	0,08322	0,072728	0,284657	0,060758	0,051407
	0,056452	0,056808	0,056429	0,284657	0,056692	0,055463
	0,066967	0,066921	0,066219	0,284657	0,067082	0,058316
	0,060308	0,060595	0,060104	0,284657	0,060612	0,059675

В результате серии экспериментов для опыта короткого замыкания получены следующие графики, приведенные на рис. 3 и 4.

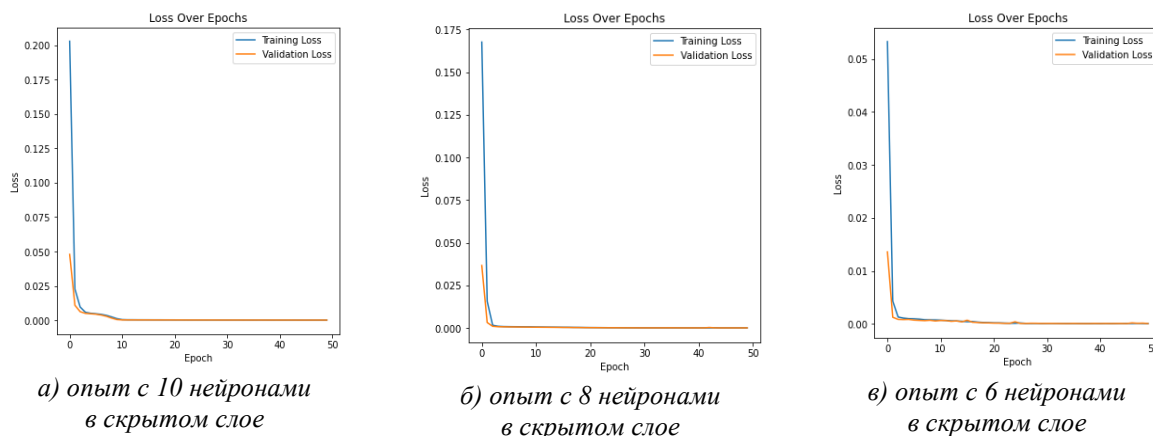


Рис. 3. Графики обучения модели нейронной сети с функцией активации  $\tanh$

На графике рис. 3, а обучение нейронной сети заканчивается на 13 эпохе и далее значение ошибки обучения не меняется на своём протяжении. Кривые обучения и валидации совпадают друг с другом. Ошибка обучения составляет 0,000785. На графике рис. 3, б обучение заканчивается на 20 эпохе, при этом кривые валидации и обучения совпадают. Ошибка обучения составляет 0,0003841. На графике рис. 3, в видно, обучение нейронной сети заканчивается на 29 эпохе, кривые валидации и обучения совпадают, ошибка при этом составляет 0,00010027.

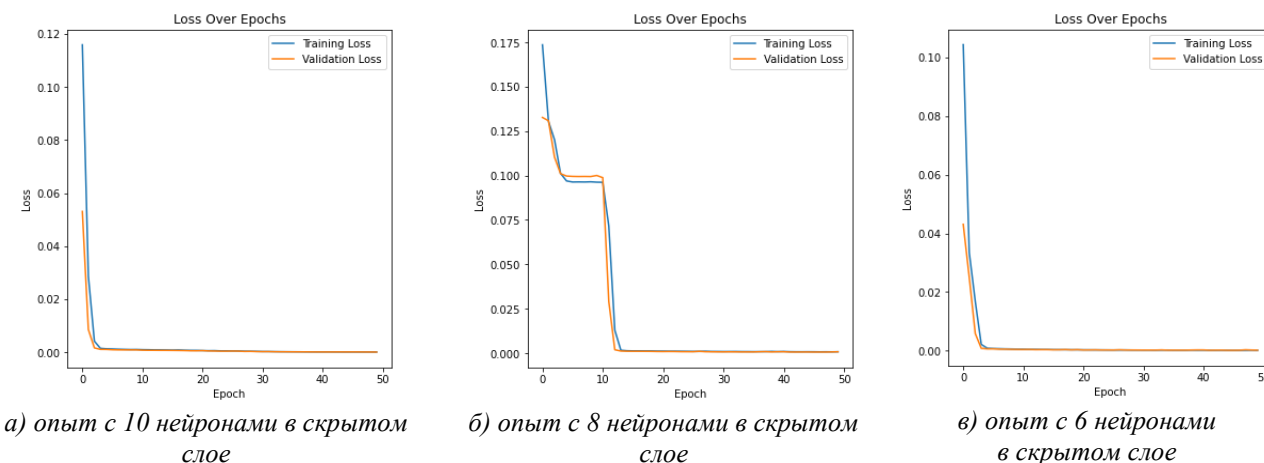


Рис. 4. Графики обучения модели нейронной сети с функцией активации  $\text{sigmoid}$

На графике рис. 4, а обучение нейронной сети заканчивается на 12 эпохе и далее значение ошибки обучения не меняется на своём протяжении. Кривые обучения и валидации совпадают друг с другом. Ошибка обучения составляет 0,000962. На графике рис. 4, б обучение заканчивается на 32 эпохе, при этом кривые валидации и обучения совпадают. Ошибка обучения составляет 0,0009083. На графике рис. 4, в обучение нейронной сети заканчивается на 20 эпохе, кривые валидации и обучения совпадают, ошибка при этом составляет 0,000313.

Также укажем относительные погрешности между предсказанием и эталонными значениями фазных токов в обмотках трансформатора в таблице 2.

Таблица 2

*Результаты ошибки обучения модели нейронной сети для опыта К3*

	Функция активации – tanh, 10 нейронов	Функция активации – tanh, 8 нейронов	Функция активации – tanh, 6 нейронов	Функция активации – sigmoid, 10 нейронов	Функция активации – sigmoid, 8 нейронов	Функция активации – sigmoid, 6 нейронов
Ошибка нейронной сети в процессе обучения	0,000785	0,0003841	0,00010027	<b>0,000962</b>	<b>0,0009083</b>	0,000313
Погрешность для Ia_НН	0,003895	0,001160	0,002017	0,001699	0,007225	0,003229
Тест №1	0,003905	0,001111	0,001986	0,001637	0,007156	0,003286
Тест №2	0,003920	0,001062	0,001959	0,001572	0,007082	0,003346
Тест №3	0,003934	0,001019	0,001927	0,00157	0,007006	0,00341
Тест №4	0,046558	0,047974	0,048511	0,046026	0,04304	0,047038
Тест №5						
Погрешность для Ib_НН	0,002990	0,000685	0,001591	0,000884	0,006589	0,001829
	0,003007	0,000703	0,001666	0,000899	0,006611	0,001871
	0,003026	0,000728	0,001746	0,000922	0,006634	0,001917
	0,003048	0,00076	0,001840	0,000951	0,006659	0,001971
	0,042118	0,040362	0,040543	0,039503	0,04189	0,040448
Погрешность для Ic_НН	0,002629	0,001685	0,001408	0,001503	0,006229	0,002979
	0,002634	0,001625	0,001472	0,001528	0,00627	0,002935
	0,002639	0,001561	0,001547	0,001559	0,006315	0,002889
	0,002647	0,001497	0,00163	0,001596	0,006359	0,002844
	0,039117	0,038934	0,04193	0,039110	0,03969	0,038485

### Заключение

В результате выполненных экспериментов выявлено:

Минимальная ошибку тестирования соответствует нейронной сети с функцией активации – tanh для обоих опытов холостого хода и короткого замыкания;

Наибольшую ошибку тестирования показывает функция активации – sigmoid, при 10 и 8 нейронах в скрытом слое.

Резюмируя, созданная нейронная сеть дает точное предсказание напряжений и токов обмоток трансформатора, ошибка предсказания минимальна и остается в допустимых пределах. На данном этапе работ, не учтена нелинейность сердечника трансформатора, что дает такой точный результат, поэтому убирая из имитационной модели допущения, делая её более “реалистичной” мы получим совершенно другой результат работы нейронной сети.

### Список использованных источников

1. Михайлович М.А., Леонов С.В., Мамонова Т.Е. Анализ методов моделирования силовых трехобмоточных трансформаторов // Энергетические системы. – Т. 1. – 2024.
2. Мамонова Т.Е., Сидорова А.А. Применение методов искусственного интеллекта при определении утечек из нефтепроводов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2017. – № 12. – С. 51–56.
3. Васильева Т.Н., Мамонова Т.Е. Применение методов искусственного интеллекта // Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». – Томск : Изд-во ТПУ, 2014. – С. 402–403.

# ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ТРОСОБЛОЧНОЙ СИСТЕМЫ ОБЕЗВЕШИВАНИЯ С УЧЕТОМ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ МАССЫ ГРУЗА И ДЛИНЫ ТРОСА

Переселяк М.Ю.<sup>1</sup>, Гайворонский С.А.<sup>2</sup>, Хожаев И.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский Политехнический ун-т, ИШИТР, 8Е22, e-mail: mup12@tpu.ru*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский Томский Политехнический ун-т, Отделение автоматизации и робототехники (ОАР), доцент, e-mail: saga@tpu.ru*

<sup>3</sup> *Национальный исследовательский Томский Политехнический ун-т, Отделение автоматизации и робототехники (ОАР), доцент, e-mail: ivh1@tpu.ru*

## Введение

Системы обезвешивания используются для компенсации в механических конструкциях сил и моментов сил, вызванных силой тяжести. Они находят применение в медицинской, космической и строительной отраслях: проведение испытаний трансформируемых конструкций космических аппаратов, компенсирование веса пациентов, страдающих проблемами с опорно-двигательным аппаратом, крановые системы [1].

В системах обезвешивания часто требуется обеспечить апериодический переходный процесс заданной длительности. При этом важно учитывать, что система имеет изменяющиеся параметры, например, масса груза и длина троса, на котором он подвешен. Исходя из этого, решением задачи синтеза должен быть регулятор, который позволяет достичь требуемого переходного процесса в системе, и обеспечивает её робастность относительно изменяющихся в ней параметров. Пример синтеза такого регулятора представлен в [2].

В [2] решена задача синтеза робастного ПИД-регулятора с учётом интервальных параметров массы груза и длины троса в системе. Требуемый апериодический переходный процесс обеспечивается в соответствии с принципом доминирующих полюсов: один из параметров регулятора делается свободным для задания желаемого расположения полюсов, а другие два позволяют задать требуемые границы отрезка вещественного доминирующего полюса. Желаемое расположение полюсов было достигнуто, прямые показатели качества системы рассчитаны на основе переходных характеристик системы в вершинах её параметрического многогранника. Однако в литературе [3] системы с интервальными параметрами считаются стационарными системами с неопределёнными параметрами. В связи с этим актуально проверить работоспособность системы методом имитационного моделирования с учетом нестационарности ее параметров.

Таким образом, целью работы является реализация математической модели системы с учетом нестационарности ее параметров: длины троса и массы груза; и проверка работоспособности системы с ранее синтезированным регулятором.

## Составление имитационной модели

Рассмотрим представленную в [2] структурную схему системы обезвешивания (рис. 1).

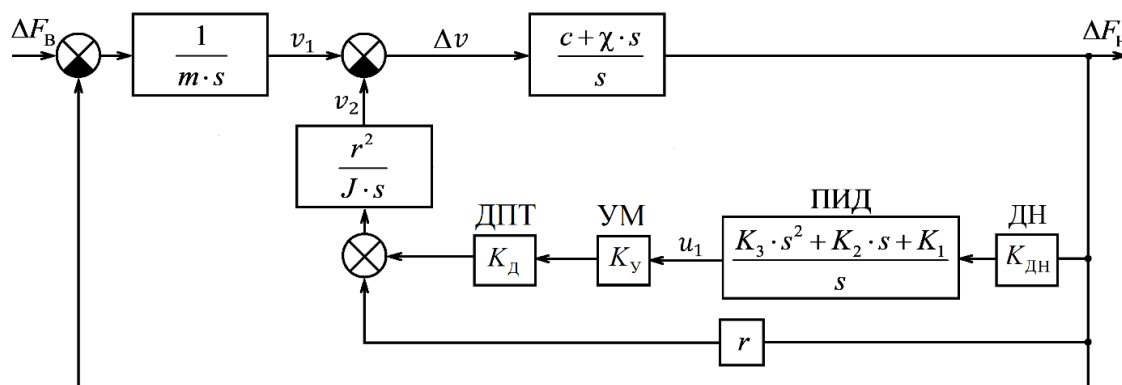


Рис. 1. Структурная схема системы обезвешивания



В структурной схеме использованы следующие обозначения:  $m$  – масса груза, кг;  $l$  – длина троса, м;  $J$  – момент инерции электропривода системы,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $\chi$  – удельный коэффициент демпфирования троса,  $\text{Н}\cdot\text{с}$ ;  $c$  – удельная жесткость троса,  $\text{Н}$ ;  $r$  – радиус приводного шкива электропривода, м;  $K_{\text{д}}$  – передаточный коэффициент двигателя постоянного тока,  $\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{В}^{-1}$ ;  $K_{\text{у}}$  – передаточный коэффициент усилителя мощности,  $\text{В}\cdot\text{Н}^{-1}$ ;  $K_1, K_2, K_3$  – интегральный, пропорциональный и дифференциальный коэффициенты регулятора;  $K_{\text{дн}}$  – передаточный коэффициент датчика натяжения,  $\text{В}$ ;  $u_1$  – сигнал управления регулятора, В;  $v_1$  – скорость груза,  $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ ;  $v_2$  – скорость сматывания троса,  $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ . Постоянные параметры системы принимают следующие значения:  $J = 0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ,  $\chi = 10^4 \text{ Н}\cdot\text{с}$ ,  $c = 2 \cdot 10^4 \text{ Н}$ ,  $r = 0,1 \text{ м}$ ,  $K_{\text{д}} = 5 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{В}^{-1}$ ,  $K_{\text{у}} = 10 \text{ В}\cdot\text{Н}^{-1}$ ,  $K_{\text{дн}} = 1$ ,  $K_1 = 0,0309$ ,  $K_2 = 0,0778$ ,  $K_3 = 0,0549$ . Интервальные параметры системы заданы диапазонами:  $m = [50; 500] \text{ кг}$ ,  $l = [50; 100] \text{ м}$ .

Согласно структурной схеме системы на её вход подается сигнал возмущающей силы  $\Delta F_{\text{в}}$ . Затем в сумматоре происходит вычисление разности этого сигнала и текущего значения силы натяжения троса. Поступающая разность сил делится на массу груза и интегрируется для расчета скорости движения груза  $v_1$  под действием возмущающей силы. Эта сила также измеряется датчиком натяжения. Сигнал с него поступает на ПИД-регулятор, формирующий управляющий сигнал  $u_1$  с регулятора, который проходит через блок усилителя мощности и попадает на двигатель постоянного тока, вращающий барабан с тросом. Скорость сматывания троса  $v_2$ , поступает на сумматор и вычитается из  $v_1$ . Рассчитанная разность скоростей  $\Delta v$  поступает на блок моделирования упругого троса, в котором интегрируется для поиска приращения длины троса вследствие его растяжения. На выходе данного блока формируется сигнал силы натяжения  $\Delta F_{\text{н}}$ . Имитационная модель представлена на рис. 2.

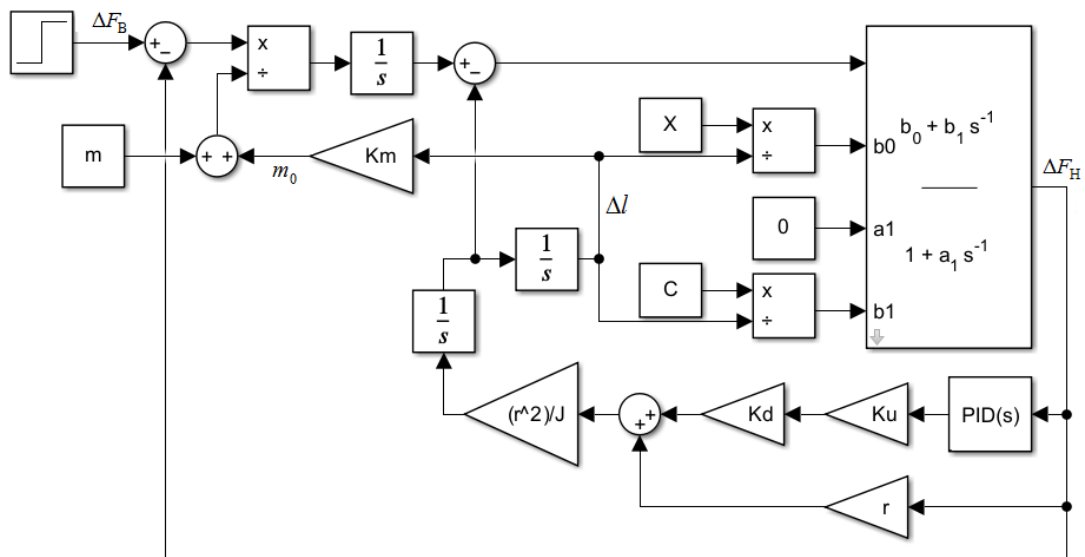


Рис. 2. Имитационная модель системы обезвешивания

В имитационной модели использованы следующие обозначения:  $K_m = 0,06$  – коэффициент удельной массы троса, равный  $0,06 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-1}$ ;  $m_0$  – масса размотанного троса, кг.

Имитационная модель имеет ряд особенностей, которые позволяют провести моделирование рассматриваемой системы как нестационарной.

В процессе уравнивания груза в системе меняется длина троса, которая регулируется посредством вращения шкива на валу двигателя постоянного тока. Это приводит к изменению рабочей массы системы и изменению характеристик самого каната, на котором подвешен груз. Под рабочей массой системы следует понимать сумму массы подвешенного груза и массы отмотанного троса.

Массу отмотанного троса можно найти по формуле (1):

$$m_0 = K_m \cdot \int v_2 dt \quad (1)$$

Для того чтобы учесть массу троса в системе, проведем после сумматора дополнительную ветвь, в которой полученное значение скорости движения каната будет интегрироваться и перемножаться на коэффициент удельной массы  $K_m$ . Рассчитанное значение массы троса далее подается на сумматор для расчета рабочей массы системы.

Для того чтобы учесть изменения характеристик троса, которые описываются передаточной функцией, используется специальный блок. Блок реализует уравнение (2), описывающее передаточную функцию троса в системе:

$$W(s) = \frac{\frac{c}{l} + \frac{x}{l} \cdot s}{s} \quad (2)$$

На вход блока подается скорость разматывания, коэффициенты демпфирования и сопротивления, последние два из которых делятся на текущую длину троса. Блок производит расчет коэффициентов передаточной функции и затем интегрирует полученное выражение и на его выходе формируется сигнал силы натяжения.

### Моделирование переходного процесса

В результате имитационного моделирования получены графики переходных процессов для комбинаций пороговых значений интервальных параметров (рис. 3).

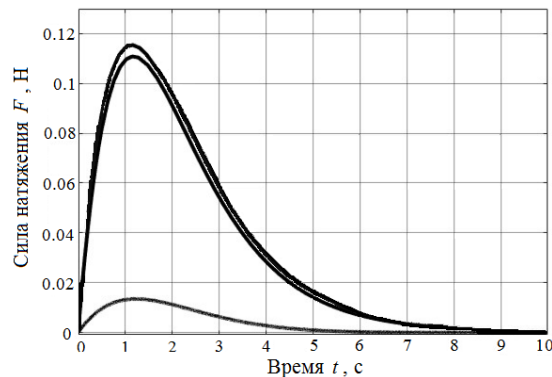


Рис. 3. Графики переходных характеристик имитационной модели для разных комбинаций интервальных параметров

По полученным графикам можно прийти к выводу, что переходные процессы в имитационной модели протекают быстрее, нежели в стационарной, что объясняется повышенным уровнем консерватизма линейной модели с интервальными параметрами. Вид переходных характеристик и время переходных процессов не противоречит полученному семейству в [2].

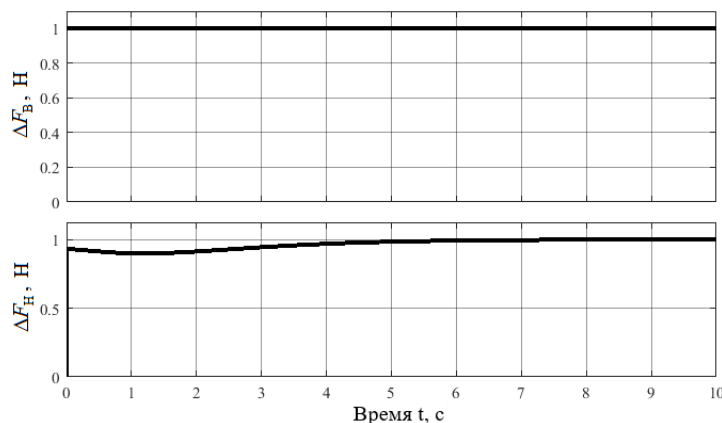


Рис. 4. Возмущающая и выходная силы

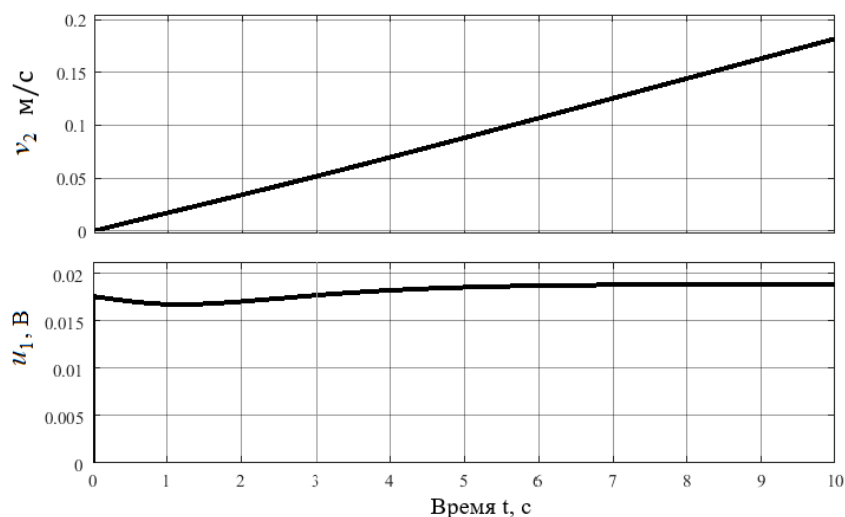


Рис. 5. Скорость троса и управляющий сигнал регулятора

Опишем физические процессы в системе. На вход модели подается единичное ступенчатое воздействие, вызывающее возникновение возмущающей силы  $\Delta F_B = 1$  Н (рис. 4). На это воздействие начинает реагировать система посредством сматывания троса на шкив, который закреплен на валу ДПТ. За управление процессом сматывания троса отвечает ПИД-регулятор, который формирует управляющий сигнал, обеспечивающий линейное нарастание скорости сматывания троса с барабана для компенсации внешнего возмущения в виде функции Хэвисайда (рис. 5). Благодаря апериодическому переходному процессу в системе, скорость сматывания троса меняется без колебаний. Процесс изменения длины троса прекращается при полном компенсировании внешней возмущающей силы.

### Заключение

При описании нестационарных систем при помощи стационарных моделей с интервальными параметрами требуется провести дополнительные проверки для оценки её качества регулирования.

Проверка рассматриваемой системы была реализована в виде создания имитационной модели, в которой учитывались изменения параметров системы в ходе протекания в ней переходных процессов. Результаты моделирования показали, что синтезированный ПИД-регулятор обеспечивает желаемое качество регулирования, не смотря на то, что был рассчитан по упрощенной модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 23-29-00737).

### Список использованных источников

1. Беляев А.С., Филипас А.А., Курганов В.В., Поберезкин Н.И. Четырехтроссовая система обезвешивания с управлением по вектору силы // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2022. – Т. 18, № 2. – С. 98–106.
2. Пересесяк М.Ю., Гайворонский С.А., Хожаев И.В. Синтез робастного регулятора системы обезвешивания с интервальными параметрами и аффинной неопределенностью коэффициентов характеристического полинома // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIX Международной научно-практической конференции (20-22 ноября 2024 г.): в 2 ч. – Ч. 2. – Томск : В-спектр, 2024 (в печати).
3. Bartlett A.C., Hollot C.V., Lin H. Root locations of an entire polytope of polynomials: it suffices to check the edges // Mathematics of Control, Signals and Systems. – 1988. – Т. 1, № 1. – С. 61–71.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MATLAB SIMULINK

Зарубин А.Д.<sup>1</sup>, Тихомиров В.А.<sup>2</sup>, Астраханцев Л.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», ТС.3-22-1,  
e-mail: zarubin\_ad@irgups.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», заведующий кафедрой  
«Электроэнергетика транспорта», e-mail: tihomirov\_va@irgups.ru

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», профессор кафедры  
«Электроэнергетика транспорта», e-mail: astrahancev1943@mail.ru

## Введение

В настоящее время с появлением необходимости построения все более сложных математических моделей, целью создания которых является необходимость проводить подробные расчеты режимов работы различных систем электроснабжения, было создано несколько программ, которые позволяют повысить точность и сходимость инженерных расчётов, а также создать возможность моделирования условий эксплуатации оборудования или систем, близких к реальным, для возможности более детального описания систем и процессов. На сегодняшний день, существует множество программ для моделирования различных энергетических процессов в системах электроснабжения, в частности электроснабжения железных дорог, например, такие как Программный комплекс для расчета систем тягового электроснабжения (МИИТ), PSS® E, MATLAB SimPowerSystems, ETAP с модулем eTraX, PSCAD/EMTDC, ENOTRAC AG, Real Time Digital Simulator, КОПТЭС, Fazonord software complex, eMEGAsim [1-3].

Однако, не все представленные программы дают возможность внесения принципиально новых данных построения систем, изменения функционала и полноты обработки полученных результатов [4]. В данной научной работе будет использоваться программа MatLab, подпрограмма Simulink. С помощью данного программного комплекса возможно осуществлять моделирование систем тягового электроснабжения любой сложности, а также принципиально новых, перспективных систем [5-6].

## Моделирование системы тяги

В качестве источника внешнего электроснабжения был взят блок Three-Phase Source (трехфазный источник напряжения), а также окно задания его параметров изображены на рис. 1.

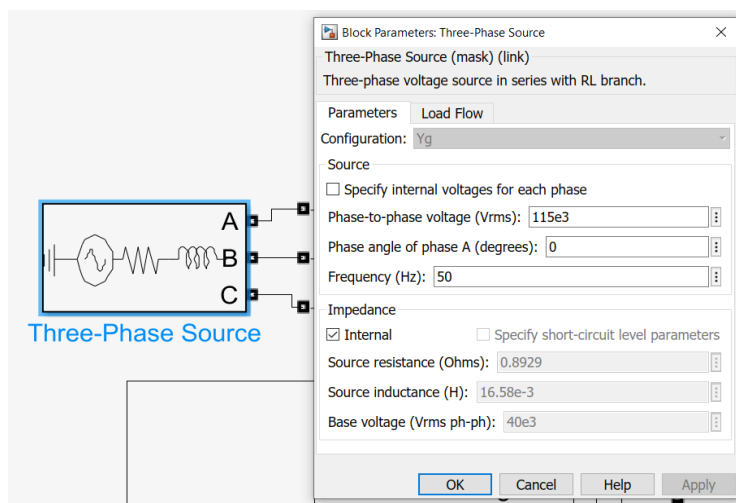


Рис. 1. Модель трехфазного источника питания

Блок собирается из трех отдельных источников питания переменного напряжения. Они собираются по схеме звезда, нулевой провод отсутствует. Для более точного расчета модели, есть возможность задать активное и индуктивное сопротивление отдельно для каждой фазы источников питания с помощью значений сопротивлений и индуктивности фазы или с помощью параметров короткого замыкания источника.

В качестве модели линии электропередачи был взят блок Series RLC Branch – это однофазная линия электропередачи. Блок, а также окно задания его параметров изображены на рис. 2.

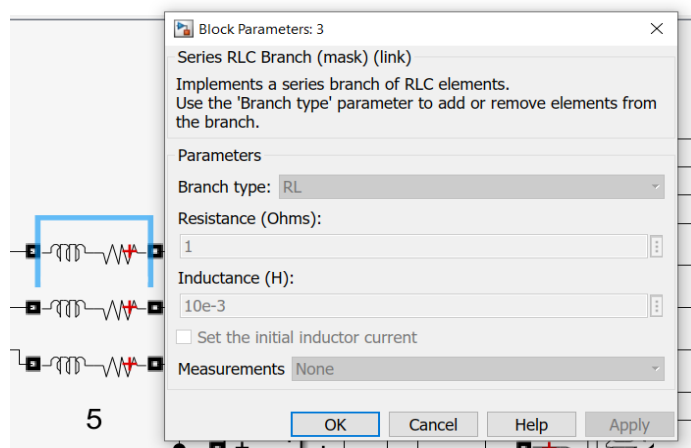


Рис. 2. Модель однофазной линии электропередач

В качестве модели тяговой подстанции был использован блок ThreePhase Transformer Inductance Matrix Type (Three Windings) – модель трехфазного трехобмоточного трансформатора. Изображение блока трансформатора, а также окна задания его параметров приведены на рис. 3.

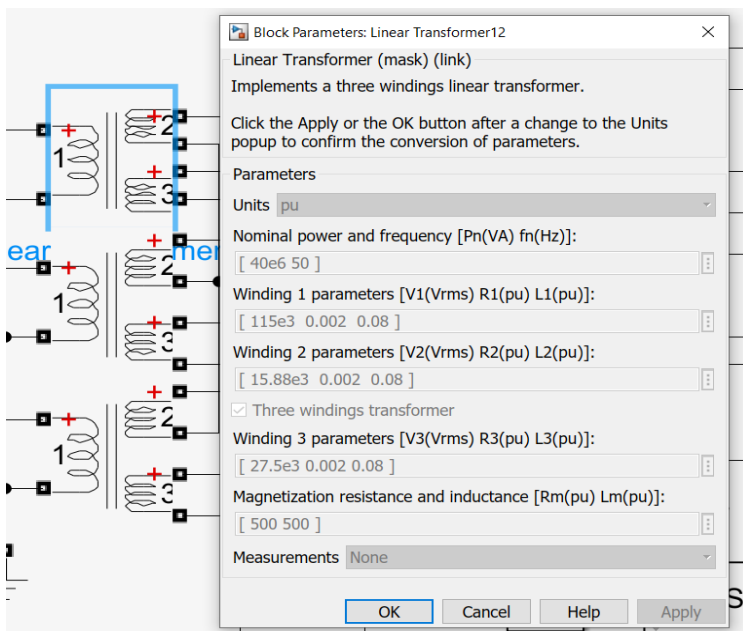


Рис. 3. Модель силового трансформатора

В качестве модели контактной подвески в межподстанционной зоне был использован блок Series RLC Branch type R. Изображение блока контактной подвески, а также окна задания его параметров приведены на рис. 4.

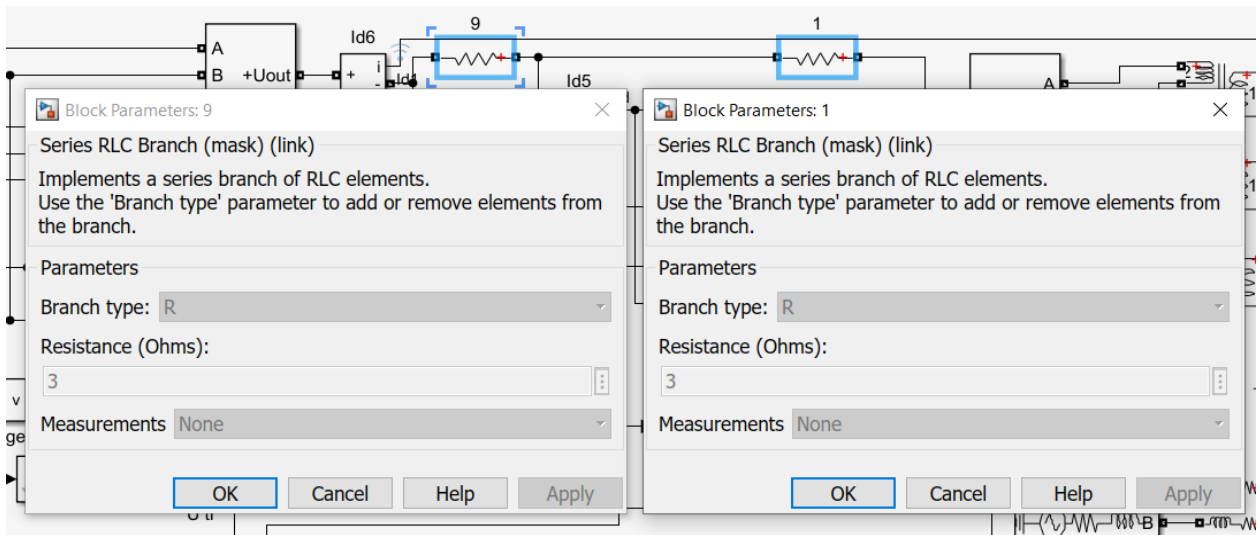


Рис. 4. Модель МПЗ длиной 30 км

В качестве модели выпрямителя, изображенного на рис. 5, будет использован трехфазный двенадцатипульсовый управляемый выпрямитель последовательного типа, выполненный с помощью двух мостовых схем.

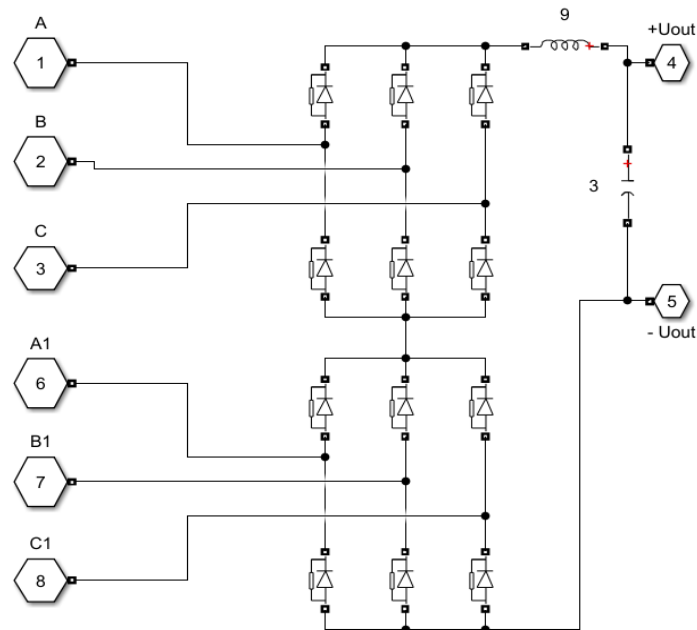


Рис. 5. Модель выпрямителя

С помощью программного комплекса MATLAB смоделирована современная перспективная система тягового электроснабжения на постоянном токе, у которой повышено напряжение в контактной сети до значений минимум 37,1 кВ. В качестве нагрузки на участке дороги был смоделирован трехсекционный электровоз марки «Ермак» с коллекторными двигателями и общей массой поезда 7100 т. на условно прямом участке межподстанционной зоны. Для работы используется модель коллекторного двигателя пульсирующего тока НБ-514Б, выполненных блоком DC machine (машина постоянного тока), его характеристики представлены на рис. 6. Масса поезда задается с помощью расчетной нагрузки на валу двигателя. Поезд массой 7100 т создает нагрузку на валу двигателя примерно 7351 Н\*м. В качестве входного преобразователя постоянного-постоянного тока локомотива используется блок преобразователя ESV конструкции ИрГУПС [7]. Модель участка представлена на рис. 7.

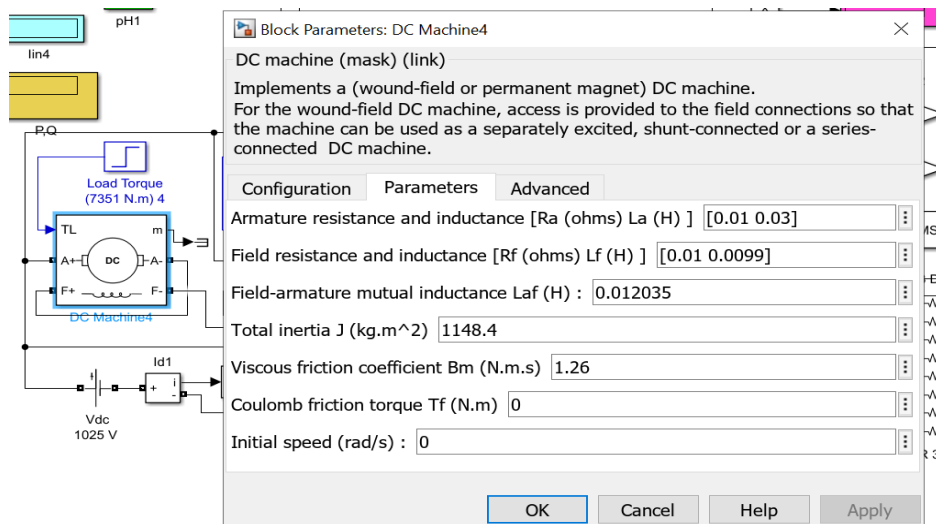


Рис. 6. Характеристики двигателя пульсирующего тока НБ-514Б

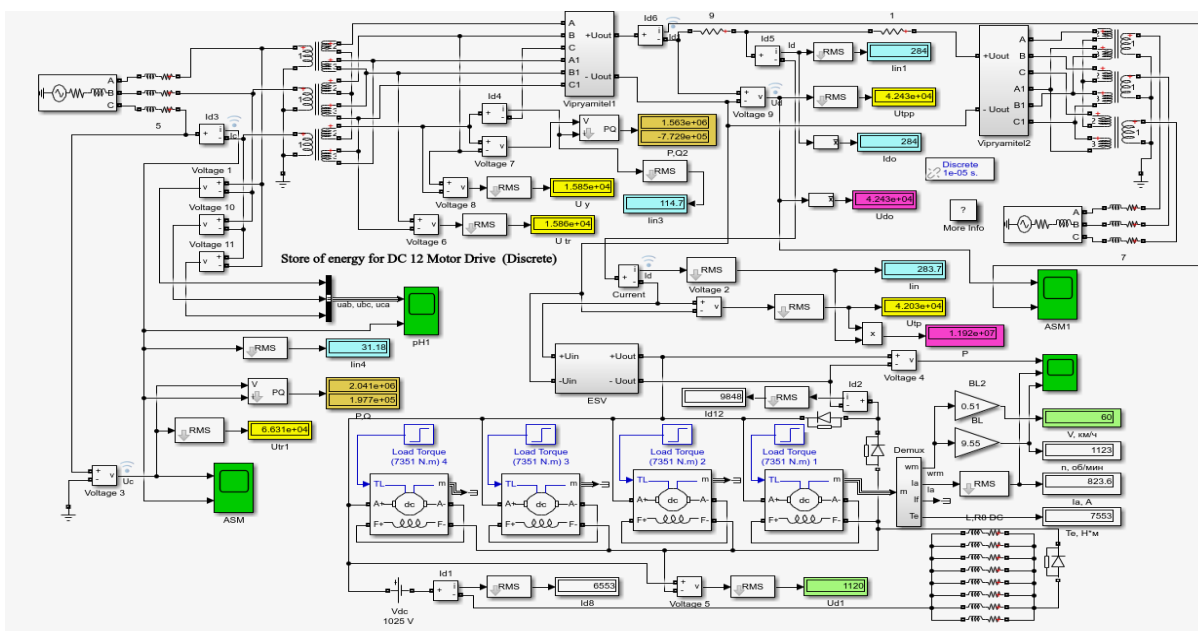


Рис. 7. Модель участка железной дороги, электрифицированного по системе постоянного тока повышенного напряжением на условно прямом участке пути

В результате моделирования работы системы тяги были получены следующие основные характеристики:

- ток в контактной сети на середине участка составляет 284 А;
- поезд выведен на среднее значение скорости следования по участку в 60 км/ч;
- напряжение на выходе выпрямительной установки составляет 42430 В;
- характеристики двигателя: обороты – 1123 об/мин, ток – 823,6 А, напряжение – 1120 В.

### Заключение

С помощью данной модели возможно производить расчет мгновенных схем системы тягового электроснабжения в любом моменте времени, имитируя реальный участок профиля пути, что позволит провести анализ эффективности работы предлагаемой системы. В программном комплексе MATLAB SIMULINK имеется возможность снять осциллограммы любых сигналов, а также провести THD анализ и определить влияние ЖД системы на качество электроэнергии. При достаточном количестве исходных данных можно смоделировать любую систему тягового электроснабжения, участок пути и нагрузку, создать различные режимы работы и провести расчеты.

### Список использованных источников

1. Крюков А.В., Закарюкин В.П. Компьютерные технологии для моделирования систем электроснабжения железных дорог переменного тока // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2010. – № 3 (28).
2. Крюков А.В., Закарюкин В.П. Моделирование систем тягового электроснабжения постоянного тока: монография / Иркутск: ИрГУПС, 2022. – 184 с.
3. Урюпин А.С. Применение компьютерного моделирования при модернизации систем электроснабжения транспорта // StudNet. – 2021. – № 6.
4. Зарубин А.Д. Анализ систем тягового электроснабжения [Электронный ресурс] / Зарубин А.Д., Астраханцев Л.А. // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2021. – № 2. – Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/212-2021>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 14.10.2024).
5. Зарубин А.Д., Соболев М.Г., Астраханцев Л.А. Результаты исследования системы тяги постоянного тока повышенного напряжения // Электронный научный журнал «Молодая наука Сибири». – 2022. – № 2 (16).
6. Компьютерное моделирование электромеханических систем постоянного и переменного тока в среде Matlab Simulink / Ю.Н. Дементьев, В.Б. Терехин, И.Б. Однокопылов и др. Томск : ТПУ, 2018. – 497 с.
7. Рябченко Н.Л., Алексеева Т.Л., Астраханцев Л.А., Тихомиров В.А., Зарубин А.Д. Перспективное развитие теории электромагнитных, энергетических процессов и совершенствование технологии электрической тяги // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2023. – № 1 (77).



# КРАТКИЙ ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В КАЛИБРОВКЕ АГЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Радченко Д.М.,

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, научный сотрудник, email: radchenko-dm@ranepa.ru

## Введение

Агентное моделирование является мощным инструментом для изучения сложных систем, позволяя анализировать поведение агентов и их взаимодействие на микроуровне. В статье рассмотрены случаи применения машинного обучения в калибровке агентных моделей. По результатам обзора литературы показано, что применение машинного обучения в агентных моделях позволяет значительно повысить эффективность процедуры поиска оптимальных решений в задачах калибровки параметров.

## Подходы к калибровке моделей

Из-за сложности внутренней структуры агентных моделей откалибровать параметры непосредственно на микроуровне может быть достаточно трудно. Калибровка и оценка агентных моделей непросты еще и потому, что сложные микроэкономические взаимодействия и наличие повсеместных нелинейностей (даже в простейших моделях) не позволяют получить решение функции правдоподобия в замкнутом виде [2].

Для небольшого числа параметров и/или небольшого масштаба модели, как было показано в книге Fagiolo и др. [2], может использоваться метод косвенного вывода (indirect inference methods).

Еще одно из возможных решений - свести к минимуму погрешность между выходными данными модели и реальными статистическими данными, что обеспечивает метод имитируемых моментов (method of simulated moments, MSM). Его можно рассматривать как подтип обобщенного метода моментов (generalized method of moments, GMM). Суть состоит в том, что выбирается такой вектор параметров модели, чтобы моменты имитационной модели  $X^S$  соответствовали моментам реальных данных  $X^R$  [7]. Для этого строится функция расстояния, параметры которой подбираются путем ее минимизации во всем пространстве параметров.

Как отмечают Fagiolo и др. [2], MSM достаточно универсален и применим к любому типу агентной модели, однако он не лишен недостатков, которые проявляются тем сильнее, чем выше сложность и масштаб модели. Во-первых, аналитическое решение задачи минимизации аппроксимированной функции расстояния редко доступно, что вынуждает полагаться на численные приближения. Во-вторых, моменты выбираются произвольно, поэтому различные комбинации могут привести к различным результатам. В-третьих, процедура требует больших вычислительных затрат за счет необходимости в большом числе прогонов модели.

Схожи по своей сути с MSM метод имитации минимального расстояния (simulated minimum distance approach, SMD) и имитации максимального правдоподобия (simulated maximum likelihood approach, SML).

Также в литературе можно встретить примеры использования методов байесовского вывода [4]. Они позволяют сократить количество произвольных решений, связанных с каким-либо случайным выбором моментов или любой другой метрики, позволяющей оценить расстояние между реальным и смоделированным временными рядами. Более того, байесовский подход мог бы быть более асимптотически эффективным, поскольку он использует информацию, предоставляемую всем распределением данных. Однако, как показали Canova и Sala [1] и Fagiolo и Roventini [3], выбор предварительного распределения может привести к искусственному искажению последующего, что приводит к необходимости промежуточной калибровки. Кроме того, сохраняется проблема больших вычислительных затрат.

В 2022 году Ye и др. [8] в качестве альтернативы предложили метод аппроксимации самосогласованного (среднего) поля (mean field approximation method), который базируется на предположении о том, что поведение агента может быть сформулировано как марковский процесс высокого порядка. Работа метода начинается с поиска оптимальной вероятности переноса с помощью уравнения переноса макросостояния, после чего вычисляются значения микропараметров для каждого агента с использованием аппроксимации среднего поля. Чтобы снизить размерность уравнения переноса макросостояний дополнительно используется метод главных компонент (для сжатия пространства состояний

агента), что позволяет в значительной степени снизить ресурсоемкость подхода. Song и др. [7] развивают эту идею и предлагают заменить метод аппроксимации самосогласованного поля на обучение с подкреплением. После обучения агенты выбирают наиболее выгодное по целевому показателю состояние. Поскольку параметры агентов различны, цели их перевода будут разными. Факторы, влияющие на изменение состояния агента, делятся на: а) собственные параметры агента, связанные с изменением состояния, б) влияние других агентов, в) факторы окружающей среды (включая случайные эффекты) и г) методы и параметры принятия решений агентом.

Помимо указанных методов для калибровки агентной модели также могут использоваться суррогатные модели. Первоначально для этого использовалась гауссовская регрессия или кригинг (kriging), что облегчало процесс исследования пространства параметров и анализа чувствительности агентной модели. Однако эффективность кригинга в значительной мере зависит от способности модели оценить истинную пространственную непрерывность данных, что не всегда является тривиальной задачей. В попытках преодолеть данное ограничение Lamperti и др. [5] в 2017 г. предложили исследовать пространство параметров и калибровку агентной модели путем сочетания машинного обучения и интеллектуального итеративного сэмпинга (intelligent iterative sampling). Предлагаемый авторами альтернативный подход (случайный сэмплер с суррогатной поддержкой) подразумевает использование упрощенной суррогатной метамоделю на основе ограниченного числа оценок исходной модели и аппроксимацию нелинейной взаимосвязи между входными и выходными данными.

Процедура начинается с создания достаточно большого пула комбинаций начальных состояний параметров с использованием любой стандартной процедуры отбора. Этот пул выступает в качестве прокси для полного пространства параметров. Затем из пула отбирается небольшое случайное подмножество комбинаций для инициализации процедуры обучения (так же с использованием любой стандартной процедуры отбора), для каждой из которых оценивается модель. Тем выходным данным, которые удовлетворяют определяемому пользователем критерию калибровки, присваивается метка «1» (положительная), в противном случае – «0» (отрицательная). Затем суррогатная модель обучается на этих комбинациях, чтобы прогнозировать вероятности того, что немаркированные комбинации в пуле относятся к категории «1». Далее отбирается очень небольшая часть пула в соответствии с прогнозируемой положительной вероятностью. Эти варианты оцениваются в оригинальной агентной модели для определения их истинных характеристик. Это продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто заданное пользователем максимальное число прогонов или не будет достигнут заранее определенный уровень точности. Авторы отмечают, что подобный подход оказывается менее ресурсозатратным по сравнению с классическими методами калибровки.

Perumal и Zyl [6] дополнительно показали, что суррогатные методы с большей вероятностью позволяют оценить наиболее оптимальный вектор параметров, который генерирует синтетическое распределение данных, соответствующее реальному распределению данных.

В отечественной литературе вопросы калибровки агентных моделей с помощью методов машинного обучения пока не получили широкого распространения. Наиболее близко по тематике исследование Ланцева [9], в котором предложена методика верификации агентных имитационных моделей средствами интеллектуального анализа процессов в среде Anylogic.

## Заключение

По результатам проведенного обзора литературы показано, что для решения проблемы калибровки агентных моделей методами машинного обучения применяются такие методы как метод косвенного вывода для небольших моделей и метод имитируемых моментов, который позволяет минимизировать погрешность между модельными и реальными данными. Однако такие методы имеют свои недостатки, включая сложность аналитического решения задачи минимизации и высокие вычислительные затраты.

Альтернативные подходы, такие как методы байесовского вывода, могут предложить более эффективное решение за счёт использования всей доступной информации о данных. Метод аппроксимации самосогласованного поля позволяет значительно снизить ресурсоемкость подхода за счёт использования метода главных компонент для сжатия пространства состояний агента. Использование суррогатных моделей является одним из наименее времязатратных и ресурсоемких подходов.

Развитие этих идей в направлении обучения с подкреплением может предложить новые возможности для улучшения калибровки и оценки агентных моделей, особенно в условиях высокой сложности и масштабов моделей.

### **Список использованных источников**

1. Canova F., Sala L. Back to square one: identification issues in DSGE models // *Journal of Monetary Economics*. – 2009. – Vol. 56, № 4. – P. 431–449.
2. Fagiolo G., Guerini M., Lamperti F., Moneta A., Roventini A. Validation of agent-based models in economics and finance. *Computer Simulation Validation. Fundamental Concepts, Methodological Frameworks, and Philosophical Perspectives*, – С. 763-787. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2019. – 1057 с.
3. Fagiolo G., Roventini A. Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: new developments and challenges ahead // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. – 2017. – Vol. 20, № 1. – P. 1–37.
4. Grazzini J., Richiardi M.G., Tsionas M. Bayesian estimation of agent-based models // *Journal of Economic Dynamics and Control*. – 2017. № 77. – P. 26–47.
5. Lamperti F., Roventini A., Sani A. Agent-based model calibration using machine learning surrogates // *Journal of Economic Dynamics & Control*. 2018. – № 90. – P. 366–389.
6. Perumal R., van Zyl T.L. Surrogate assisted methods for the parametrisation of agent-based models // *7th Intl. Conference on Soft Computing & Machine Intelligence*. Danvers : IEEE, 2020. – P. 78–82.
7. Song B., Ye P., Xiong G., Dong X., Yu S., Lv Y. Calibration of agent-based model using reinforcement learning // *IEEE 1st International Conference on Digital Twins and Parallel Intelligence (DTPI)*. – Beijing : IEEE, 2021. – P. 278–281.
8. Ye P., Chen Y., Zhu F., Lv Y., Lu W., и Wang F.. Bridging the micro and macro: calibration of agent-based model using mean-field dynamics // *IEEE Transactions on Cybernetics*. – 2021. – Vol. 52, № 11. – P. 11397–11406.
9. Ланцев Е.А. Верификация агентных имитационных моделей Anylogic с применением технологии интеллектуального анализа процессов (process mining). Средства автоматизации и визуализации имитационного моделирования. Сборник докладов шестой всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2013). – Казань : Издательство «ФЭН» Академии наук РТ, 2013. – Т. 1. – С. 348–350.

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ УСТАНОВКИ СИНТЕЗА ПКФ

*Моисеева К.М.<sup>1</sup>, Крайнов А.Ю.<sup>2</sup> Чуканов М.В.<sup>3</sup>, Петренко А.Ю.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Томский государственный университет, профессор, e-mail: Moiseeva\_KM@t-sk.ru*

<sup>2</sup> *Томский государственный университет, заведующий кафедрой, e-mail: akrainov@ftf.tsu.ru*

<sup>3</sup> *АО «Сибирский химический комбинат», главный эксперт ПО ЗРИ АО «СХК»  
e-mail: chukanov2008@yandex.ru*

<sup>3</sup> *АО «Сибирский химический комбинат», ведущий специалист НТЦ ЦЗЛ АО «СХК»  
e-mail: petrenkoay@yandex.ru*

### Введение

На основе исследования аэродинамики и теплопереноса в опытной установке по получению поликарбонфторидов (ПКФ), фторированных графенов и нанотрубок была предложена оптимизация конструкции с целью повышения производительности установки и обеспечения равномерности фторирования исходного сырья.

### Описание исследования

На АО «Сибирский химический комбинат» была изначально разработана конструкция установки, содержащая простую, однонаправленную систему подвода газа и рассчитанную на загрузку исходного порошка по двум полкам.

В ходе этапа по исследованию производительности такой конструкции было предложено оптимизировать систему подачи газа и увеличить производительность установки путем введения дополнительных полок для раскладки порошка. В новой конструкции реактора изменено место входа потока фтор-азотной смеси в подающий трубопровод реактора. Изменена схема расстановки полок во внутреннем объеме реактора. Над полками расположен трубопровод с выходными отверстиями. Полки расположены на пяти уровнях. По сравнению с исходной установкой изменилось количество полок и схема подачи газа.

Было проведено численное моделирование установки с изменением расстояния прилегания полок к стенкам реактора, изменением расхода реагента через трубопровод, варьированием количества отверстий подачи газа на каждом из уровней полок.

### Заключение

Проведенное численное моделирование показало, что увеличение количества полок до пяти штук приводит к установлению более равномерного потока фтор-азотной смеси над поверхностью лотков на полках по сравнению с исходной моделью реактора. Показано, что использование изогнутого трубопровода на подаче газа позволяет за счет местных сопротивлений отрегулировать подачу реагента, сделав ее более равномерной.

Определено влияние зазоров между полками и стенками реактора на возникновение вихрей в установке синтеза ПКФ.

Показано влияние изменения схемы подачи газа, а также количества отверстий подачи на аэродинамику течения газа в установке ПКФ.

Полученные результаты исследования учтены при разработке ректора синтеза повышенной производительности на АО «СХК».

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ И ТЕПЛОПЕРЕНОСА В УСТАНОВКЕ СИНТЕЗА ПКФ

*Моисеева К.М.<sup>1</sup>, Крайнов А.Ю.<sup>2</sup> Чуканов М. В.<sup>3</sup>, Петренко А.Ю.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup> Томский государственный университет, профессор, e-mail: Moiseeva\_KM@t-sk.ru*

*<sup>2</sup> Томский государственный университет, заведующий кафедрой, e-mail: akrainov@ftf.tsu.ru*

*<sup>3</sup> АО «Сибирский химический комбинат», главный эксперт ПО ЗРИ АО «СХК»*

*e-mail: chukanov2008@yandex.ru*

*<sup>3</sup> АО «Сибирский химический комбинат», ведущий специалист НТЦ ЦЗЛ АО «СХК»*

*e-mail: petrenkoay@yandex.ru*

### **Введение**

Выполнено исследование аэродинамики и теплопереноса в опытной установке по получению поликарбонфторидов (ПКФ), фторированных графенов и нанотрубок. Целью работы являлась выработка рекомендаций по организации газообмена и нагрева в установке по производству ПКФ для повышения качества получаемой продукции.

### **Описание исследования**

На предприятии АО «Сибирский химический комбинат» в рамках эксплуатации опытной установки получения поликарбонфторидов (ПКФ), фторированных графенов и нанотрубок выявлена необходимость повышения равномерности фторирования исходного сырья. Равномерность фторирования зависит от процессов аэродинамики и теплопереноса в объеме аппарата (установки) по производству ПКФ.

В докладе представлена физико-математическая модель процессов аэродинамики и теплопереноса в объеме аппарата (установки) по производству ПКФ; представлены результаты расчета газодинамики течения фтор-азотной смеси в подающих каналах (трубках) установки синтеза ПКФ; представлены результаты расчета газодинамики течения фтор-азотной смеси в отводящих каналах (трубках) установки синтеза ПКФ; представлены результаты расчета аэродинамики течения фтор-азотной смеси во внутреннем объеме установки синтеза ПКФ; представлены результаты расчета распределения температуры среды во внутреннем объеме установки синтеза ПКФ. Представлен анализ результатов расчетов.

На основе математической модели вязкого теплопроводного газа [1] проведено моделирование течения фтор-азотной смеси в подводящих и отводящих трубах установки синтеза ПКФ. Для учета турбулентного характера течения воздуха использована к-е модель турбулентности [2].

### **Заключение**

Из расчетов выявлено, что подвод фтор-азотной смеси через подводящую трубку с двумя отверстиями обеспечивает равномерность подачи смеси в объем реактора. Отличие в величине средней скорости в двух отверстиях составляет менее 1 %. Расход газовой смеси через отверстия отводящей трубки имеет существенно неоднородный характер. Через отверстия, находящиеся ближе к закрытому концу трубы выкачивается на 40 % меньше газа, чем через отверстие в начале трубы. Различие в значении величин скорости массового расхода газа через отверстия связано с гидравлическими сопротивлениями участков трубы между отверстиями.

Проведен расчет газодинамики течения фтор-азотной смеси и распределения температуры во внутреннем объеме установки синтеза ПКФ за счет естественной конвекции, когда предполагается, что газообмен через подводящие и отводящие трубки отсутствует.

В расчетах было принято распределение температуры по поверхности стенок реактора, измеренное на АО «СХК». Из расчетов выявлено, что из-за различия температуры стенок реактора в нем возникает существенное естественно-конвективное движение фтор-азотной смеси.

Проведены расчеты газодинамики течения и процессов теплопереноса в объеме установки по производству ПКФ при теплоизоляции крышки и предохранительного сбросного канала реактора. Из расчетов выявлено, что в объеме реактора возникает вынужденная конвекция из-за подачи и отвода фтор-азотной смеси через отверстия подводящих и отводящих каналов. Также присутствуют эффекты естественной конвекции из-за неоднородной температуры боковых стенок реактора. Неоднородность температуры в реакторе меньше, чем в случае не теплоизолированной крышки реактора и стенок

предохранительного сбросного канала реактора. Наблюдается градиент температуры по высоте реактора – внизу температура ниже, вверху – выше. Над поверхностью лотков наблюдается вихревое движение газовой смеси.

Проведены расчеты газодинамики течения и процессов теплопереноса в объеме установки по производству ПКФ после проведения сотрудниками АО «Сибирский химический комбинат» мероприятий по теплоизоляции крышки и предохранительного сбросного канала реактора. В расчетах использованы данные измерений температуры боковых стенок реактора, температуры крышки реактора и температуры стенок предохранительного сбросного канала реактора. Интенсивность естественной конвекции в районе предохранительного сбросного канала реактора уменьшилась.

По итогам работы даны рекомендации по оптимизации существующей конструкции установки синтеза ПКФ.

### **Список литературы**

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М. : Наука, 1987. – 840 с.
2. Авраменко М.И. О  $k$ - $\epsilon$  модели турбулентности / М.И. Авраменко. – Снежинск : Изд-во РФЯЦ – ВНИИТФ, 2010. – 102 с.

## НОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫХОДНОГО ДЖИТТЕРА ОБОРУДОВАНИЯ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Батенков К.А.

МИРЭА – Российский технологический университет, профессор, e-mail: [pustur@yandex.ru](mailto:pustur@yandex.ru)

Выходной джиттер обозначает в широком смысле все фазовые флуктуации, которые вырабатывает генератор на его выходных интерфейсах синхронизации при отсутствии входного джиттера или других внешних помех, включающие, например, случайные фазовые разрывы из-за нечастых испытаний оборудования [1]. Практически для всех параметров входного джиттера, если не оговорено дополнительно, время измерения составляет одну минуту ( $T = 1$  мин.).

Измерения выходного джиттера проводятся в простейшем случае с помощью счетчика времени, используемого для сбора выборок фазовой или временной погрешности относительно ожидаемых значений [1]. Графики последовательностей фазовых или временных ошибок показывают поведение генератора на интервале измерения.

Подобная схема измерений представлена на рис. 1. Здесь тестируемым является оборудование, на вход которого поступает синхросигнал с кодировкой HDB3 (high density bipolar of order 3 – биполярный код высокой плотности 3) на скорости 2,048 Мбит/с, соответствующий рекомендации ITU-T G.703 [2]. Например, некоторые цифровые коммутационные станции синхронизируются только по сигналу E1. В данной схеме счетчик времени управляется не сигналами пуска и остановки, а измеряет отклонение фазы входного сигнала относительно эталонного [1].

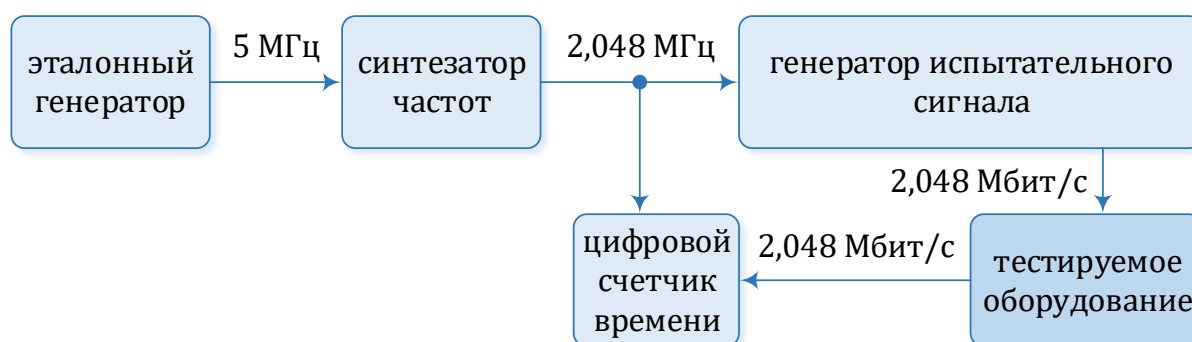


Рис. 1. Пример схемы измерений выходного джиттера

Большинство спецификаций для эталонных генераторов не зависят от типа интерфейса, на котором они измеряются [3, 4]. Однако нормы джиттера для различных скоростей отличаются (таблица 1).

Таблица 1

Нормы параметров выходного джиттера эталонных генераторов PRC (G.811, G.811.1)

скорость или частота $\nu_0$	длительность единичного интервала UI $T_0$ , нс	диапазон джиттера	джиттер $m'_x$ , UI <sub>pp</sub>
2,048 Мбит/с	488	20 Гц – 100 кГц	0,05
1,544 Мбит/с	648	10 Гц – 40 кГц	0,015
10 МГц	100	20 Гц – 100 кГц	0,01

Выходной джиттер для вторичных задающих генераторов SASE также нормируется относительно скорости [5, 6]. Разделение норм на типы генераторов не производится. Все значения фильтров для интерфейсов STM-N согласованы с параметрами фильтров, указанными в рекомендации ITU-T G.825 [7]. Из-за стохастической природы джиттера нормированные значения могут превышать, что определяет ее соответствие по крайней мере в 99 % всех проведенных измерений (таблица 2). Крутизна измерительного фильтра на нижней частоте среза должна составлять 20 дБ на декаду, а крутизна на верхней частоте среза – 60 дБ на декаду.

Таблица 2

## Нормы параметров выходного джиттера вторичных задающих генераторов SASE (G.812)

скорость $\nu_0$	длительность единичного интервала UI $T_0$ , нс	диапазон широкополосного джиттера	широкополосный джиттер $m'_x$ , UI <sub>pp</sub>	диапазон высокочастотного джиттера	высокочастотный джиттер $m'_x$ , UI <sub>pp</sub>
2,048	488	20 Гц – 100 кГц	0,05		
1,544	648	10 Гц – 40 кГц	0,05		
STM-1 (электр.)	6,43	0,5 кГц – 1,3 МГц	0,5	65 кГц – 1,3 МГц	0,075
STM-1	6,43	0,5 кГц – 1,3 МГц	0,5	65 кГц – 1,3 МГц	0,1
STM-4	1,61	1 кГц – 5 МГц	0,5	250 кГц – 5 МГц	0,1
STM-16	0,4	5 кГц – 20 МГц	0,5	1 МГц – 20 МГц	0,1

Выходной джиттер для генераторов сетевых элементов SEC также нормируется относительно скорости [8]. Все значения фильтров для интерфейсов STM-N согласованы с параметрами фильтров, указанными в рекомендации ITU-T G.825 [7], за исключением высокочастотных фильтров, используемых для североамериканской иерархии варианта 2, приведенных в рекомендации ITU-T G.783 [9, 10]. Параметры измерительных фильтров аналогичны используемым для вторичных задающих генераторов (таблицы 3, 4).

Таблица 3

## Нормы параметров выходного джиттера генераторов сетевых элементов SEC европейской иерархии (вариант 1 – G.813)

скорость $\nu_0$	длительность единичного интервала UI $T_0$ , нс	диапазон широкополосного джиттера	широкополосный джиттер $m'_x$ , UI <sub>pp</sub>	диапазон высокочастотного джиттера	высокочастотный джиттер $m'_x$ , UI <sub>pp</sub>
2,048	488	20 Гц – 100 кГц	0,05		
STM-1	6,43	0,5 кГц – 1,3 МГц	0,5	65 кГц – 1,3 МГц	0,1
STM-4	1,61	1 кГц – 5 МГц	0,5	250 кГц – 5 МГц	0,1
STM-16	0,4	5 кГц – 20 МГц	0,5	1 МГц – 20 МГц	0,1
STM-64	0,1	20 кГц – 80 МГц	0,5	4 МГц – 80 МГц	0,1

Таблица 4

## Нормы параметров выходного джиттера генераторов сетевых элементов SEC североамериканской иерархии (вариант 2 – G.813)

скорость $\nu_0$	длительность единичного интервала UI $T_0$ , нс	диапазон широкополосного джиттера	широкополосный джиттер $m'_x$ , UI <sub>pp</sub>	диапазон высокочастотного джиттера	высокочастотный джиттер $m'_x$ , UI <sub>pp</sub>
STM-1	6,43	12 кГц – 1,3 МГц	0,1		
STM-4	1,61	12 кГц – 5 МГц	0,1		
STM-16	0,4	12 кГц – 20 МГц	0,1		
STM-64	0,1	20 кГц – 80 МГц	0,3	4 МГц – 80 МГц	0,1

## Список использованных источников

1. Брени С. Синхронизация цифровых сетей связи / Стефано Брени ; Пер. с англ. Н.Л. Бирюкова, С.Я. Несвитской, Н.Р. Триски ; Под ред. А.В. Рыжкова. – М. : Мир, 2003. – 417 с.
2. Rec. G.703. Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces. – 2016. – Geneva : ITU-T, 2016. – 66 p.
3. Rec. G.811. Timing characteristics of primary reference clocks. – 1997. – Geneva : ITU-T, 1997. – 11 p.



4. Rec. G.811.1. Timing characteristics of enhanced primary reference clocks. – 2017. – Geneva : ITU-T, 2017. – 14 p.
5. Батебников А.А., Батенков К.А., Фокин А.Б. Методы формирования множеств состояний телекоммуникационных сетей для различных мер связности // Труды СПИИРАН. – 2020. – Т. 19, № 3. – С. 644–673.
6. Rec. G.812. Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks. – 2004. – Geneva : ITU-T, 2004. – 46 p.
7. Rec. G.825. The control of jitter and wander within digital networks which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH). – 2000. – Geneva : ITU-T, 2000. – 22 p.
8. Rec. G.813. Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC). – 2003. – Geneva : ITU-T, 2003. – 36 p.
9. Rec. G.783. Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks. – 2006. – Geneva : ITU-T, 2006. – 288 p.
10. Батенков К.А. Дискретные отображения модели непрерывного канала связи на основе обобщенного ряда Фурье // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2013. – № 43. – С. 12–20.

# АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙНА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Десницкий В.А.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН),  
старший научный сотрудник, e-mail: desnitsky@comsec.spb.ru*

## **Введение**

В настоящее время все большее распространение получают современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в различных сферах деятельности, таких как сельское хозяйство [1, 2], оперативное реагирование в чрезвычайных ситуациях и стихийных бедствиях [3], мониторинг трубопроводов и энергосетей [4], фото-видео-съемка местности и картография [1, 5], доставка заказов [3] и др. Используются различные виды БПЛА, отличающиеся количеством и видами количеством моторов, размерами и весом БПЛА, максимальной продолжительностью и высотой полета, стоимостью, организационно-технической сложностью управления и обслуживания БПЛА, видами аккумуляторных батарей, функциональной расширяемостью и другими значимыми характеристиками [3]. При этом для полнофункциональной работы таких сценариев возникает все большая потребность в надежных и быстрых системах связи для оперативного и защищенного управления сетями взаимосвязанных БПЛА, в том числе в рамках существующих и перспективных сетей 5G и 6G-связи [1, 6].

Ввиду динамического характера таких сценариев, предполагающих изменяющийся во времени состав устройств и используемых протоколов связи, перемещаемые в пространстве БПЛА с ограниченными по времени режимами функционирования, нахождение устройств в изменяющемся и потенциально ненадежном программно-аппаратном окружении, а также вовлечение пользователей и организаций с различными уровнями доверия и полномочиями, все большее значение начинают приобретать вопросы информационной безопасности таких систем. Одно из перспективных направлений – исследование и дальнейшее развитие технологии блокчейна, ставящее целью повышение уровня защищенности функционирования, управления и сопровождения современных киберфизических систем, включающих БПЛА. В настоящей работе представлены результаты анализ применимости технологии блокчейна для решения задач информационной безопасности беспилотных летательных аппаратов.

## **Анализ применимости**

Опубликованная к настоящему моменту времени научно-техническая литература описывает примеры сценариев использования БПЛА, а также цели и условия применения технологии блокчейна и распределенных реестров, в частности, для решения таких задач, как безопасное коллаборативное управление роями БПЛА и обеспечение неизменности и целостности данных на таких устройствах [7]. В [3] обсуждается возможность использования БПЛА, предназначенных для нахождения на значительной высоте над землей, и их работа в совместном режиме использования нескольких провайдеров связи. Необходимость такого совместного использования обуславливается организационно-технической сложностью запуска и обслуживания таких БПЛА на большой высоте, в результате чего подобные процессы оказываются экономически оправданными при управлении БПЛА в конкурентном режиме в рамках некоторого консорциума компаний-операторов. Это в свою очередь делает перспективными совместное управление БПЛА и защищенное хранение операционных данных с использованием технологии блокчейна. Надежность таких децентрализованных систем, в частности, обеспечивается при помощи различных репутационных механизмов, способствующих достижению консенсуса между участниками взаимодействия [8].

В [3] также отмечается возможность использования технологии блокчейна при коммерческой доставке грузов потребителю при помощи БПЛА в рамках индустрии управления цепочками поставок. В этом случае в процессе полета каждый физически и информационный аспект процесса доставки фиксируется в рамках такого распределенного реестра, и это предоставляет повышенную степень отслеживания и доказуемость такой доставки. Поэтому в случае каких-либо инцидентов это обеспечивает, в частности, доказуемое определение юридической ответственности между действующими участниками.

Помимо обеспечения и контроля целостности данных, совместно оперируемых множеством беспилотных летательных аппаратов, в [1] отмечается важность быстрого доступа к произвольным блокам

распределенного реестра со стороны каждого участника взаимодействия, что становится особенно критичным при интеграции сетей БПЛА и 5G/6G-сетей. Как отмечается в [6], ввиду все возрастающего количества устройств 5G и зачастую сложно прогнозируемых мест повышенной плотности устройств интернета вещей, подключающихся к традиционным сотам таких сетей, все большая потребность возникает в использовании БПЛА в качестве перемещаемых мобильных точек доступа к таким сетям – т.н. устройства мобильного доступа по запросу (англоязычные термины On-Demand Mobile Access Points и Drones-as-a-Service). Отметим, что использование блокчейна позволяет уйти от строгой централизации подобных инфраструктур с обеспечением при помощи блокчейна согласованности параметров коммуникации и ее надежности [6]. В [2] предлагается виртуализированная среда, предоставляющая услуги БПЛА без дополнительного приобретения каких-либо физических БПЛА пользователями в рамках различных промышленных приложений. Для этих целей используется частично децентрализованная модель блокчейна для обеспечения безопасности процессов работы, конфиденциальности данных и повышения качества обслуживания.

В [9] предложена схема применения блокчейна в сети БПЛА, ориентированная на защиту функционирования такой сети и отдельных БПЛА в условиях атак глушения каналов связи и управления беспилотными устройствами (jamming-атаки). Встраивание на каждый из БПЛА программного компонента – модуля узла блокчейна – позволяет резервировать и своевременно синхронизировать полную копию наиболее критически важных данных, используемых в процессе пилотирования. Это позволяет БПЛА при необходимости покинуть зону глушения, основываясь на данных, имеющихся в распределенном реестре с последующим возобновлением участия в многосторонней сетевой коммуникации.

Помимо важности блокчейна для обеспечения неизменности данных в сетях БПЛА в [5] предложен подход для повышения приватности данных, собираемых с сенсоров БПЛА с использованием виртуальных каналов и сохраняемых в облаке с реализацией механизма контроля доступа пользователей. Кроме того, используя блокчейн, несколько участников могут взаимодействовать безопасно, децентрализованно и равноправно в условиях многоагентного кооперативного взаимодействия [10, 11]. Так, в [12] предлагается подход к использованию БПЛА для облета мест массового скопления людей и их аутентификации для обеспечения многосторонней доверенной коммуникации, например, в условиях ограничений пандемии. В рамках такого подхода блокчейн предлагается использовать для регистрации коммуникационной деятельности участников с использованием процесса атрибуции и смарт-контрактов. Использование блокчейна в сетях БПЛА также позволяет решать задачи оптимизации операционных процессов в таких сетях [13]. Отметим, что подобные процессы могут также использовать элементы теории игр и цифровых финансовых токенов, для управления и оптимизаций устройствами сети БПЛА на основе моделируемых затрат и прибылей в виде таких токенов и выполнения смарт-контрактов участниками такой сети [14].

Отметим, что в рамках рассмотренных работ применение технологии блокчейна для сетей БПЛА по большей части ограничивалось использованием частных или корпоративных сетей блокчейна с легковесной (облегченной) программной реализацией, не требующей значительных вычислительных ресурсов, которыми должны обладать БПЛА. При развитии сервисных концепций применения БПЛА (Drones-as-a-Service) особое значение приобретают вопросы стандартизации на стыке применения БПЛА и блокчейна. В частности, для расширения охвата таких решений необходимо закладывать возможности по встраиванию программных модулей в рамках интегрируемых микроконтроллеров БПЛА, а также возможности по их расширению в направлении унифицированных программных интерфейсов для организации блокчейн-решений.

Кроме того, при организации подобных механизмов на основе блокчейна необходимо также учитывать возможные вынужденные задержки с принятием решений на основе данных из блокчейна вследствие необходимости синхронизации множественных копий блоков данных между участниками сетевого обмена. Это может осложняться, в том числе, тем, что в общем случае узел сети, представляемый конкретным БПЛА, может динамически менять свое месторасположение в пространстве, и поэтому маршрут доставки сообщений может также изменяться. Кроме того механизм обеспечения гарантированной доставки в рамках протокола транспортного уровня из-за не предопределенности расположения БПЛА может вызывать затрату дополнительного времени на организацию корректной доставки, что также может сказываться при организации блокчейна в таких сетях.

## Заклучение

Работа посвящена анализу применимости технологии блокчейна в современных киберфизических системах, включающих беспилотные летательные аппараты, для решения задач информационной безопасности. Анализ проводится на базе опубликованных источников научно-технической литературы, открытых сведений о доступных практических решениях и предыдущем исследовательском опыте автора [15]. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-21-00486, <https://rscf.ru/project/24-21-00486/>.

## Список использованных источников

1. Mehta P., Gupta R., Tanwar S. Blockchain envisioned UAV networks: Challenges, solutions, and comparisons // *Computer Communications*. – 2020. – Vol. 151. – P. 518–538.
2. Pathak N., Mukherjee A., Misra S. AerialBlocks: Blockchain-Enabled UAV Virtualization for Industrial IoT // *in IEEE Internet of Things Magazine*. – 2021. – Vol. 4. – No. 1. – P. 72–77.
3. Alladi T., Chamola V., Sahu N., Guizani M. Applications of blockchain in unmanned aerial vehicles: A review // *Vehicular Communications*. – 2020. – Vol. 23. – Article number 100249.
4. Fedorova A.A., Beliautsov V.A., Barysevich A.N. Determining the Composition of the Group of Drones and the Basing Method for Oil Pipeline Monitoring // *2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon)*. – Sochi, Russia, 2020. – P. 330–335.
5. Ch R., Srivastava G., Gadekallu T.R., Maddikunta P.K.R., Bhattacharya S. Security and privacy of UAV data using blockchain technology // *Journal of Information Security and Applications*. – 2020. – Vol. 55. – Article number 102670.
6. Aloqaily M., Bouachir O., Boukerche A., Ridhawi I.A. Design Guidelines for Blockchain-Assisted 5G-UAV Networks // *IEEE Network*. – 2021. – Vol. 35. – No. 1. – P. 64–71.
7. Islam A., Shin S.Y. BUAV: A blockchain based secure UAV-assisted data acquisition scheme in Inter-net of Things // *Journal of Communications and Networks*. – 2019. – Vol. 21. – No. 5. – P. 491–502.
8. Ahanger T.A., Aldaej A., Atiquzzaman M., Ullah I., Yousufudin M. Distributed Blockchain-Based Platform for Unmanned Aerial Vehicles // *Computational Intelligence and Neuroscience*. – 2022. – Vol. 2022. – Article number 4723124.
9. Kuzmin A., Znak E. Blockchain-base structures for a secure and operate network of semi-autonomous unmanned aerial vehicles // *2018 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, SOLI*. – 2018. – P. 32–37.
10. Hafeez S., Khan A.R., Al-Quraan M.M., Mohjazi L., Zoha A., Imran M.A., Sun Y. Blockchain-Assisted UAV Communication Systems: A Comprehensive Survey // *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*. – 2023. – Vol. 4. – P. 558–580.
11. Ghribi E., Khoei T.T., Gorji H.T., Ranganathan P., Kaabouch N. A Secure Blockchain-based Communication Approach for UAV Networks // *2020 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT)*. – Chicago, IL, USA, 2020. – P. 411–415.
12. Gai K., Wu Y., Zhu L., Choo K. -K. R., Xiao B. Blockchain-Enabled Trustworthy Group Communications in UAV Networks // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2021. – Vol. 22. – No. 7. – P. 4118–4130.
13. Wang J., Jiao Z., Chen J., Hou X., Yang T., Lan D. Blockchain-Aided Secure Access Control for UAV Computing Networks // *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*. – 2003. – P. 1–13.
14. Campos M., Ponzoni Carvalho Chanel C., Chauffaut C., Lacan J. Towards a Blockchain-Based Multi-UAV Surveillance System // *Frontiers in Robotics and AI*. – 2021. – Vol. 8. – Article number 557692.
15. Desnitsky V., Kotenko I. Simulation and Assessment of Battery Depletion Attacks on Unmanned Aerial Vehicles for Crisis Management Infrastructures // *Simulation Modelling Practice and Theory*. – 2021. – Vol. 107. – Article number 102244.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НУКЛИДА $^{211}\text{At}$ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ НА ЦИКЛОТРОНЕ P7-M ТПУ

Киселев Д.А.

Томский политехнический университет, ИЯТШ, 0АМ31, dak86@tpu.ru

## Введение

В данной работе рассматривалось получение изотопа  $^{211}\text{At}$  в результате ядерных реакций при взаимодействии ускоренных заряженных альфа-частиц с энергией до 27 МэВ с ядрами висмутовой мишени. Целью данной работы являлось создание расчетной модели облучаемого образца, которая позволит рассчитать ионизационные потери альфа-частиц в веществе, выход изотопа  $\text{At}^{211}$  для толстой мишени и распределение температуры в облучаемом образце в зависимости от времени облучения.

## Основная часть

Модель облучения представляет из себя цилиндр, состоящий из двух слоев: висмутовой мишени и медной подложки. Источником тепла является осаждаемая альфа- частицами энергия. Используя зависимость ионизационных потерь от пробега альфа-частиц определяется мощность тепловыделения в элементарном объеме облучаемого объекта. Со стороны мишени осуществляется конвективный теплообмен воздухом, а со стороны подложки водой. Теплообмен излучением отсутствует [1]. Схема модулируемого объекта представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема моделируемого объекта

По данным моделирования на глубине 100 мкм энергия альфа-частиц снижается ниже пороговой энергии реакции  $^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)^{211}\text{At}$  [2, 3]. С учётом технологии изготовления висмутовой мишени, толщина 100 мкм принята максимальной. Суммарное тепловыделение в слое мишени составило 26,6 Вт, а в слое подложки 39,7 Вт. На рис. 2 изображен пробег альфа-частиц в моделируемом объекте.

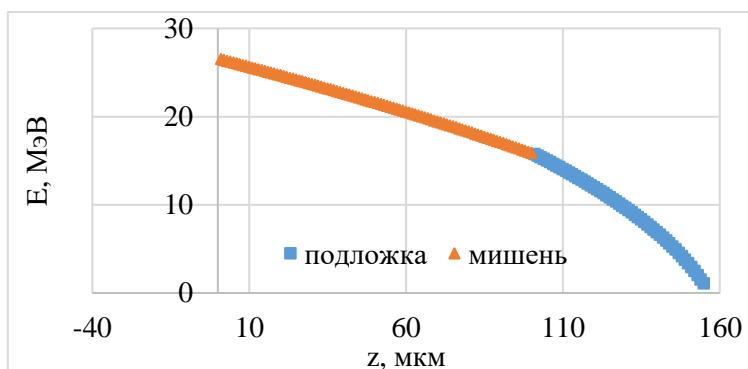


Рис. 2. Прогонка альфа-частиц в моделируемом объекте

Выход изотопа  $^{211}\text{At}$  для альфа-частиц с энергией 26,5 МэВ составил 14,25 МБк/мкА·ч [4]. На рис. 3 изображен выхода  $^{211}\text{At}$  в зависимости от начальной энергии альфа-частиц.

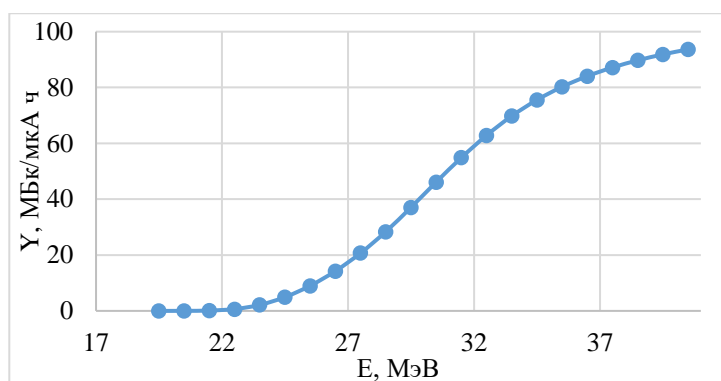


Рис. 3. Выход изотопа  $^{211}\text{At}$  для толстой мишени в зависимости от начальной энергии альфа-частиц

Максимальная рассчитанная температура мишени при облучении током 5 мкА в течении 20 минут составила 62,5 °С, что ниже температуры плавления висмута. На рис. 4 изображено распределение температуры в облучаемом образце.

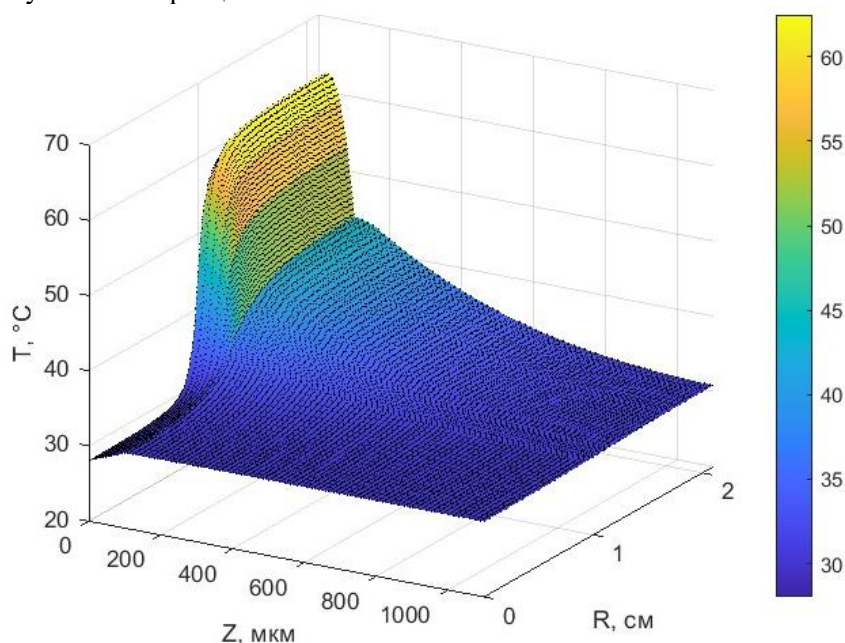


Рис. 4. Распределение температуры по радиусу и глубине мишени

### Заключение

В ходе выполнения работы определено, что наиболее распространенным способом получения  $^{211}\text{At}$  является облучение  $^{209}\text{Bi}$  альфа-частицами по реакции  $^{209}\text{Bi} (^4\text{He}, 2n) ^{211}\text{At}$ . Создана математическая модель облучаемого образца. Максимальная рассчитанная температура мишени составила 62,5 °С, что ниже температуры плавления висмута. Таким образом: ток пучка - 5 мкА и время облучения 20 мин являются оптимальными параметрами облучения для проведения реального эксперимента по получению  $^{211}\text{At}$ .

### Список использованных источников

1. Кузнецов Г.В., Шерemet М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности. – 2007.
2. Hermance A. et al. Experimental study of the cross-sections of  $\alpha$ -particle induced reactions on  $^{209}\text{Bi}$  // Applied radiation and isotopes. – 2005. – Т. 63. – № 1. – С. 1–9.
3. Денисов С.П. Ионизационные потери энергии заряженных частиц // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 11. – С. 90–96.
4. Krasnov N.N. Thick target yield // The International Journal of Applied Radiation and Isotopes. – 1974. – Т. 25. – № 5. – С. 223–227.

## ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМОШКАФА С ПАССИВНЫМ ОБОГРЕВОМ

Тренбач И.В.<sup>1</sup>, Гурина Е.И.<sup>2</sup>, Чернов А.Г.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ТГУ, Механико-математический факультет, [ivantrenbac@gmail.com](mailto:ivantrenbac@gmail.com)

<sup>2</sup> ТГУ, Механико-математический факультет, доцент, [elena.gyrina@mail.tsu.ru](mailto:elena.gyrina@mail.tsu.ru)

<sup>3</sup> АО «ТомскНИПИнефть», главный специалист, [ChernovAG@tomsknipi.ru](mailto:ChernovAG@tomsknipi.ru)

### Введение

В последние года чрезвычайно расширилась сфера интенсивного исследования и применения явлений теплообмена, изучение которых играет важную роль в развитии техники и естествознания. В настоящей работе рассматривается актуальная задача моделирования температурных характеристик термошкафа РизурБокс-С-Т7 с пассивным обогревом за счет тепловой мощности нефтегазоводяной смеси в трубопроводе. Термошкафы РизурБокс применяются для защиты оборудования от воздействия низких температур, конденсата, атмосферных осадков, пыли, химикатов, физических повреждений, несанкционированного доступа [1].

Работа «Цифровая модель термошкафа с пассивным обогревом» связана с актуальным направлением применения беспроводных технологий автоматизации управления технологическими процессами нефтегазодобычи. Применение беспроводных технологий в условиях северных регионов требует детальных расчётов условий работы оборудования при отсутствии гарантированных источников энергоснабжения. Эта задача может быть решена с применением математического моделирования и создания цифровых двойников технологических объектов. Практический эффект от развития данного направления существенная в ряде случаев экономия капитальных затрат на системы энергоснабжения.

### Описание алгоритма

В данной работе рассматривается численный расчет температурных характеристик термошкафа с пассивным обогревом за счет тепловой мощности нефтегазоводяной смеси в трубопроводе внутреннего диаметра  $D = 111$  мм и толщиной стенки  $h = 5$  мм. На рис. 1 представлена геометрия модели РизурБокс-С-Т7, построенная в графическом препроцессоре Gambit с целью дальнейшего проведения численного и компьютерного моделирования в пакете гидродинамики ANSYS Fluent [2, 3].

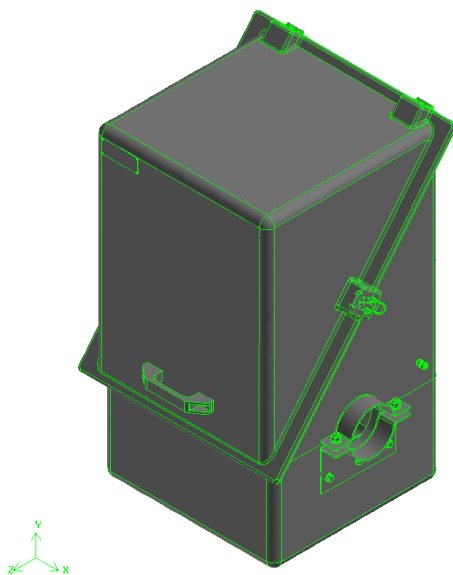


Рис. 1. Геометрия термошкафа РизурБокс-С-Т7

Численное моделирование распространения тепла в семислойной конструкции (рис. 2) термошкафа проводится с помощью метода контрольных объемов на основе неявной разностной схемы [3, 4]. Толщина каждого из слоёв конструкции принята следующей: 1 слой (вспененный полиэтилен) – 20 мм; 2 слой (воздух) – 159.5 мм; 3 слой (сталь класса прочности К48) – 5 мм; 4 слой (нефтегазоводяная

смесь) – 111 мм; 5 слой (сталь класса прочности K48) – 5 мм; 6 слой (воздух) – 503.3 мм; 7 слой (вспененный полиэтилен) – 25 мм.

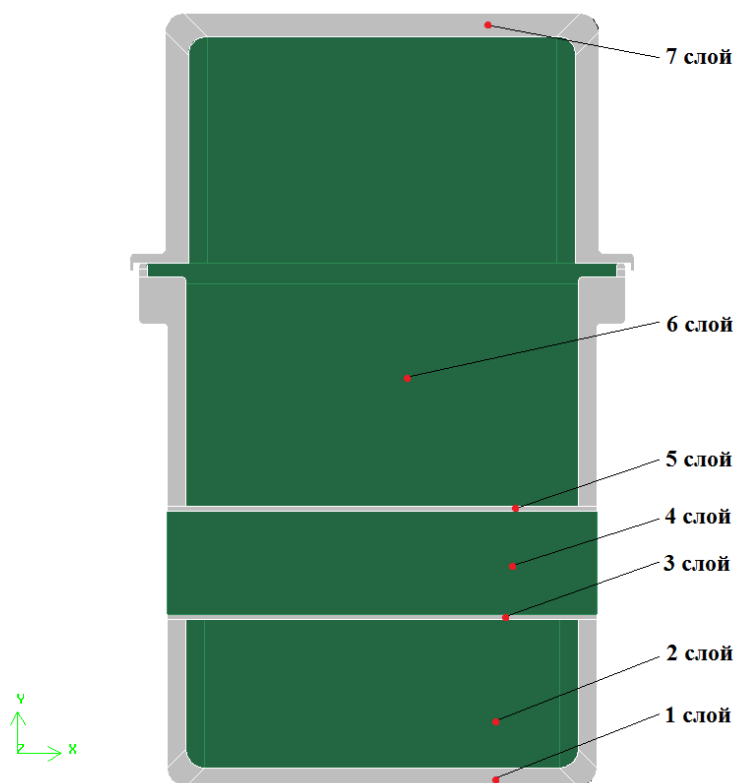


Рис. 2. Семислойная конструкция расчетного домена

В начальный момент времени температура каждой части конструкции принимается одинаковой  $T_0 = -51$  °С. В зонах контакта вспененного полиэтилена и воздуха, воздуха и стали K48 рассматриваются граничные условия IV рода. В 4-м слое конструкции (нефтегазоводяная смесь) поддерживается постоянная температура среды  $T_{oil} = 15$  °С. В зонах контакта с нефтегазоводяной смесью действуют граничные условия I рода. На границах расчетного домена, где осуществляется теплообмен с окружающей средой, рассматриваются граничные условия III рода.

Таблица 1

Теплофизические характеристики твердых и газообразных сред

Название	Плотность, $\rho$ (кг/м <sup>3</sup> )	Удельная теплоемкость, $C_p$ (Дж/кг·°С)	Коэффициент теплопро- водности, $\lambda$ (Вт/м·°С)
Вспененный полиэтилен	200	1950	0.035
Воздух	1.225	1006.43	0.0242
Сталь класса прочности K48	8030	502.48	16.27
Нефтегазоводяная смесь	880	2120	45.4



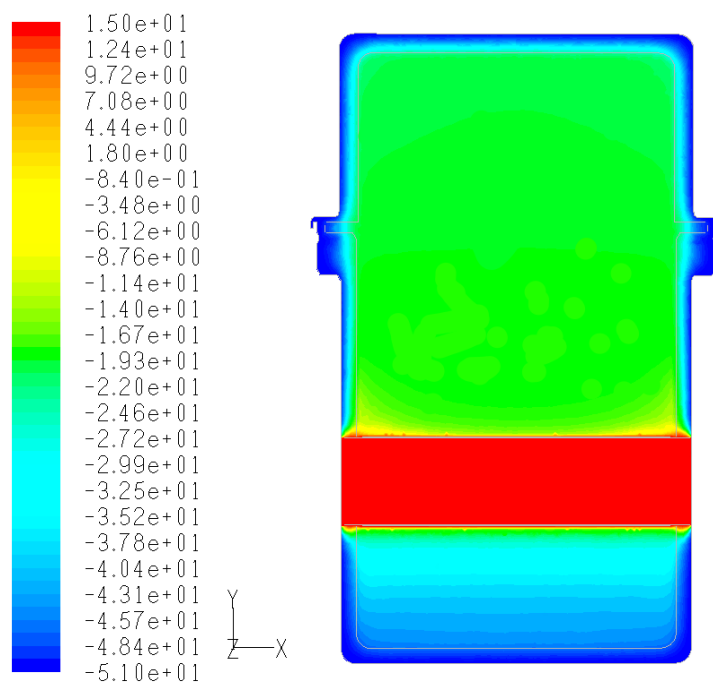


Рис. 3. Распределение температуры в сечении конструкции термошкафа  $T_{oil} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

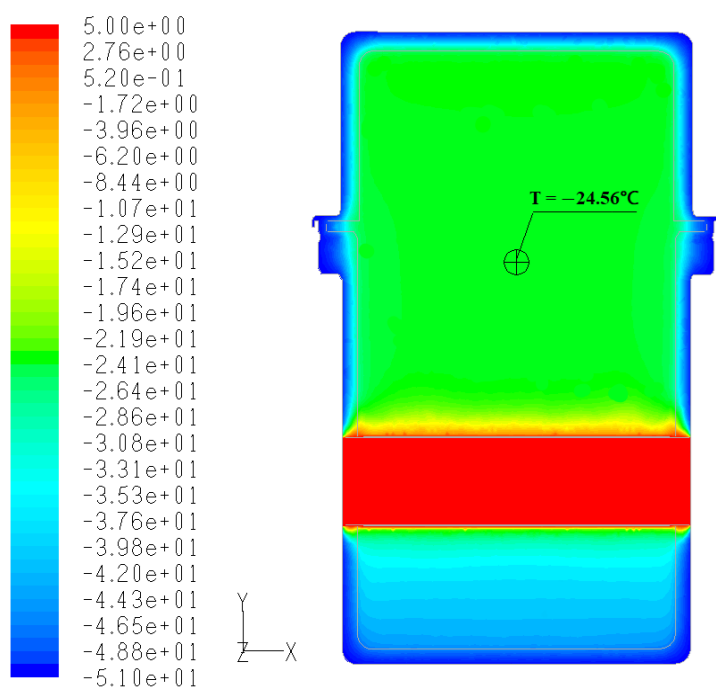


Рис. 4. Распределение температуры в сечении конструкции термошкафа  $T_{oil} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$

В термошкафах типа РизурБокс размещаются приборы КИП для замеров значений физических параметров рабочей среды. Датчики имеют штатный температурный диапазон работы. В модели РизурБокс-С-Т7 могут использоваться наборы датчиков с нижним температурным порогом  $T = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $T = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . По результатам математического и численного моделирования при варьировании температуры нефтегазоводяной смеси в трубопроводе от  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  очевидно, что набор датчиков с нижним порогом  $T = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$  недопустимо использовать внутри модели РизурБокс-С-Т7. При температуре рабочей среды трубопровода  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и без учета ветровой нагрузки на термошкаф значение температуры в точке контроля составляет  $-24.56\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 4), что практически является предельным значением для штатной работы прибора КИП.

## **Заключение**

Таким образом, получен инструмент, позволяющий проводить анализ не только в рамках поставленной задачи – отказ от дополнительного электрообогрева термшкафа в пользу пассивного за счёт тепла трубопровода, но и обоснованно подбирать оборудование, размещаемое внутри термшкафа с учётом внешних параметров (характеристики трубопровода, транспортируемой среды, климатических условий и др.).

Планируется применение результатов проекта для обоснования принципиально новых технических решений по размещению приборов КИП, проведение опытно-промышленных испытаний данного решения на одном из объектов нефтедобычи.

## **Список использованных источников**

1. Термшкафы стеклопластиковые РизурБокс-С-Т (RizurBox-C-T) диагонального раскрытия с поддоном – URL: <https://rizur.ru/catalog/termoshkafy/termoshkafy-stekloplastikovye-diagonalnogo-raskrytiya-s-poddomom/>.
2. Старченко А.В. Пакет прикладных программ FLUENT для решения задач механики жидкости и газа, тепло и массопереноса / А.В. Старченко, Д.А. Беликов, В.Д. Гольдин, Р.Б. Нутерман. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2008.
3. ANSYS FLUENT 12.0 User's Guide. – URL: [https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/flu-ent/html/ug/main\\_pre.htm](https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/flu-ent/html/ug/main_pre.htm).
4. Кольцова Э.М. Численные методы решения уравнений математической физики и химии: учебное пособие для вузов / Э.М. Кольцова, А.С. Скичко, А.В. Женса. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 220 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-06219-9. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/viewer/chislennyye-metody-resheniya-uravneniy-matematicheskoy-fiziki-i-himii-539753#page/21>.

# РАЗРАБОТКА СТРОГОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОЦЕССА ИЗОМЕРИЗАЦИИ ПРЯМОГОННЫХ БЕНЗИНОВЫХ ФРАКЦИЙ

Пушилин Е.А.<sup>1</sup>, Санкина Я.Ю.<sup>2</sup>, Чузлов В.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Томский политехнический университет, ИШПР, группа 2Д22, eap61@tpu.ru

<sup>2</sup> Томский политехнический университет, ИШПР, группа 2Д22, yys11@tpu.ru

<sup>3</sup> Томский политехнический университет, ИШПР, доцент, chuva@tpu.ru

## Введение

Изомеризация – один из важнейших процессов современной нефтепереработки, целевым назначением которого является получение высокооктановых изокомпонентов товарных бензинов или сырья нефтехимии [1]. Важно отметить, что продукт процесса каталитической изомеризации – изомеризат – характеризуется практически полным отсутствием в составе ароматических и серосодержащих соединений, т.е. может быть использован как экологически чистый компонент бензинов [2].

Вопросам разработки новых катализаторов, а также развитию математических моделей процесса изомеризации посвящено большое количество работ. Вместе с этим, актуальным остается вопрос об обеспечении максимальной эффективности указанного процесса. При эксплуатации промышленной установки изомеризации необходимо отслеживать ход процесса для поддержания экономической эффективности производства. Ввиду активной цифровизации ТЭК России, одним из возможных способов оптимизации технологических процессов является их моделирование и автоматизированное управление при помощи разработанного отечественного ПО [3].

Целью данной работы являлось создание математической модели реакторного блока и блока стабилизации низкотемпературной изомеризации легкой бензиновой фракции на языке программирования Python. Разработанная модель является основной для цифрового двойника промышленной установки изомеризации, который, в свою очередь, является инструментом для управления и поддержания эффективности промышленного процесса.

## Описание алгоритма

Математическая модель состоит из двух принципиально разных частей – реакторного блока и блока стабилизации. Расчетная блок-схема представлена на рис. 1.

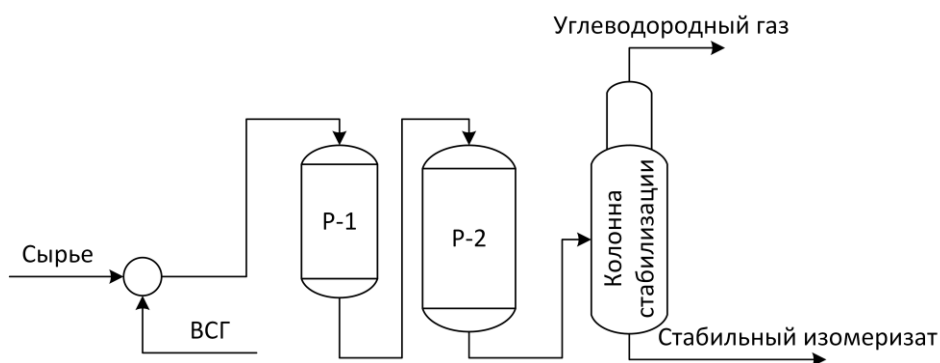


Рис. 1. Расчетная блок-схема процесса изомеризации

Сырьем реактора является прямогонная бензиновая фракция н.к.-62 °С. Сырье, предварительно пройдя стадию гидроочистки, подогревается до температуры процесса 140-160 °С [2] и поступает в реакторный блок. Продуктом является смесь изоалканов C<sub>5</sub>-C<sub>6</sub> и некоторого количества продуктов побочных реакций. Далее продукт поступает в колонну стабилизации, с низа которой выводят изомеризат.

Математическое описание реакторного блока представляет собой систему дифференциальных уравнений материального и теплового балансов. В качестве реагирующих веществ были приняты не чистые, а групповые компоненты. Представленная модель учитывает не только реакции изомеризации нормальных алканов C<sub>5</sub>-C<sub>6</sub>, но и побочные реакции, протекающие в процессе, а также аналогичные реакции для минорных компонентов C<sub>7</sub>-C<sub>8</sub> (рис. 2).

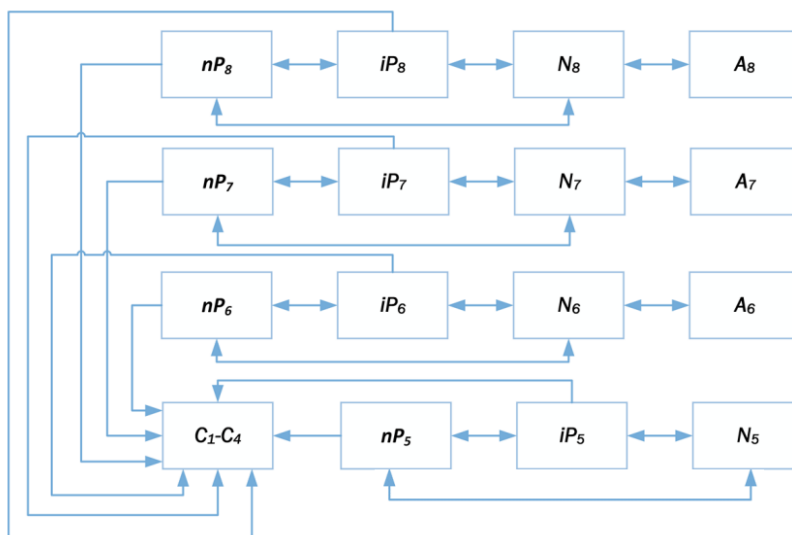


Рис. 2. Принципиальная схема превращений групповых компонентов  
 $nP_k$  –  $n$ -парафины,  $iP_k$  – изопарафины,  $N_k$  – нафтенны,  $A_k$  – арены (где  $k$  – число атомов углерода в молекуле),  
 $C_1-C_4$  – метан-бутановая фракция

Кинетические уравнения для основных реакций изомеризации

$$\begin{aligned} \omega_1 &= k_1 \cdot c(nC_5) \\ \omega_2 &= k_2 \cdot c(nC_6), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\omega_i$  – скорость реакции;  $k_i$  – константа скорости реакции;  $c(nC_5)$  и  $c(nC_6)$  – концентрации реагентов, моль/л.

Константы скорости реакций рассчитываются согласно уравнению Аррениуса

$$k_i = k_{i0} \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}}, \quad (2)$$

где  $k_{i0}$  – предэкспоненциальные множители реакций;  $E_a$  – энергия активации реакции, Дж/моль;  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);  $T$  – температура, К.

Блок стабилизации представлен математической моделью ректификационной колонны с ребойлером и конденсатором. Расчет составов дистиллята и кубового остатка (изомеризата) производится на основе уравнения Пенга-Робинсона.

Уравнение Пенга-Робинсона – модификация уравнения Ван-дер-Ваальса, рекомендованная к использованию для углеводородных сред [4]

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v(v-b) + b(v-b)} \quad (3)$$

или же в полиномиальной форме

$$Z^3 + (B-1)Z^2 + (A-2B-3B^2)Z + (B^2 + B^3 - AB) = 0, \quad (4)$$

где  $P$  – давление, Па;  $T$  – температура, К;  $v$  – молярный объём, м<sup>3</sup>/моль;  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);  $A$ ,  $B$  – коэффициенты уравнения;  $a$ ,  $b$  – коэффициенты уравнения Ван-дер-Ваальса, м<sup>3</sup>/моль;  $Z$  – коэффициент сжимаемости.

Для расчета фазового равновесия необходимо знать мольные доли  $z_i$  всех  $N$  компонентов смеси, а также давление и температуру системы. Первые приближения для констант фазового равновесия рассчитываются по формуле

$$K_i = \frac{P_{si}(T)}{P}, \quad (5)$$

где  $P_{si}(T)$  – давление насыщенного пара  $i$ -го компонента при данной температуре, Па. Величина  $P_{si}(T)$  может быть рассчитана по формуле Вильсона или по уравнению Антуана [4].

Для расчета составов паровой и жидкой фаз используется уравнение Рашфорда-Райса

$$F(V) = \sum_{i=1}^N \frac{z_i(K_i-1)}{V(K_i-1)+1} = 0, \quad (6)$$

где  $V$  – мольная доля паровой фазы,  $K_i$  – константа фазового равновесия  $i$ -го компонента.

Математическая модель простой ректификационной колонны базируется на уравнениях материального баланса, уравнениях фазового равновесия, баланса мольных долей и уравнений теплового баланса. Материальный баланс  $j$ -ой ступени можно представить следующим образом:

$$F_j + V_{j+1} + L_{j-1} - V_j - W_j - L_j - U_j = 0. \quad (7)$$

Массовый баланс по компоненту  $i$  для ступени  $j$ :

$$z_{ij}F_j + y_{ij}V_{j+1} + x_{ij}L_{j-1} - y_{ij}(V_j + W_j) - x_{ij}(L_j + U_j) = 0. \quad (8)$$

Глобально материальный баланс для  $i$ -го компонента можно записать в виде:

$$\sum_{j=1}^n z_{ij}F_j - \sum_{j=1}^n (y_{ij}W_j + x_{ij}U_j) = 0, \quad (9)$$

где  $x_{ij}$  – мольная доля  $i$ -го компонента в жидкости на  $j$ -ой ступени;  $y_{ij}$  – мольная доля  $i$ -го компонента в паре на  $j$ -ой ступени;  $z_{ij}$  – мольная доля  $i$ -го компонента в потоке питания  $j$ -ой ступени;  $F_j$  – расход питания на  $j$ -ую ступень;  $L_j$  – расход жидкости, покидающей  $j$ -ую ступень и поступающей на  $j+1$ -ую ступень;  $V_j$  – расход пара, покидающего  $j$ -ую ступень и поступающей на  $j-1$ -ую ступень;  $U_j$  – расход бокового отбора жидкости с  $j$ -ой ступени;  $W_j$  – расход бокового отбора пара с  $j$ -ой ступени.

Уточнение значений  $K_i$  происходит до тех пор, пока летучесть для каждого компонента паровой фазы не станет равна летучести того же компонента в жидкой фазе [5].

Верификация математической модели производилась при помощи построения графика рассеяния, отражающего разность между расчетными значениями концентраций компонентов и соответствующих им данных с производственной установки изомеризации (рис. 3). Общая ошибка модели составила 7,1 %.

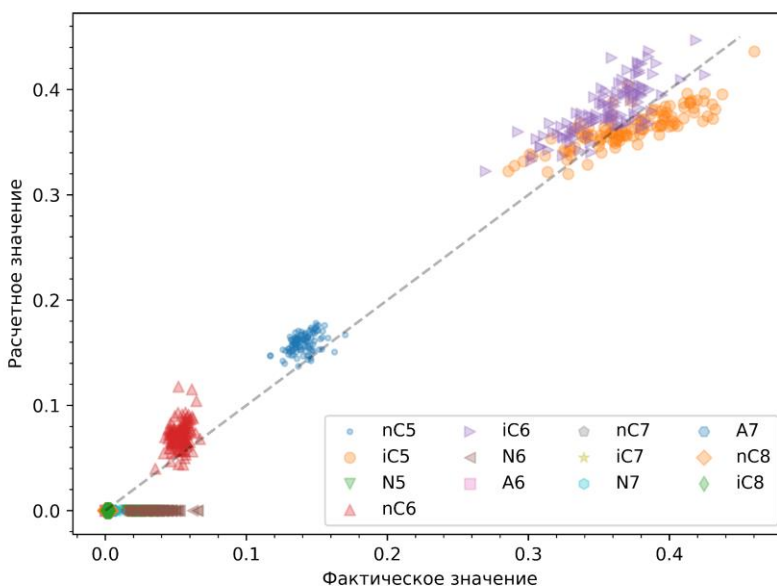


Рис. 3. Верификация разработанной модели

## Заключение

В ходе исследования была разработана математическая модель реакторного блока и блока стабилизации низкотемпературной изомеризации легкой бензиновой фракции. Данную модель можно использовать для изучения влияния технологических параметров на основные показатели процесса, прогнозировать состав продукта и его физико-химические свойства, сравнивать различные способы организации технологического процесса между собой.

В ходе дальнейшей разработки в модель будут добавлены зависимости состава продукта от свойств используемого катализатора, а также технологии машинного обучения для создания программ-

ного продукта, способного проводить внутренние калибровки, а также анализ эффективности промышленного процесса с последующими рекомендациями по оптимальным параметрам технологического режима, при которых достигается экономическая эффективность промышленного производства.

#### **Список использованных источников**

1. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: учебное пособие / С.А. Ахметов [и др.]. – СПб. : Недра, 2006. – 868 с.
2. Капустин В.М. Химия и технология переработки нефти: учебник / В.М. Капустин, М.Г. Рудин; Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (РГУ Нефти и Газы). – Москва : Химия, 2013. – 496 с.
3. Пять шагов к цифровизации энергетики // РБК Тренды : сайт. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/5d6796719a7947b5b36a5972> (дата обращения: 05.09.2024).
4. Николаев Е.В. Исследование сепарационных процессов углеводородных многокомпонентных систем в режимах функционирования оборудования предварительной подготовки нефти / Е.В. Николаев, С.Н. Харламов // Известия Томского политехнического университета. – 2016. – Т. 327, № 7. – С. 84–99.
5. Peng Ding-Yu, Robinson Donald N. Two and Three Phase Equilibrium Calculations for Systems Containing Water // The Canadian Journal of Chemical Engineering. – 1976. – Vol. 54. – P. 595–599.

## ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В УПРАВЛЕНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ МАНИПУЛЯТОРОВ

Авад П.А.В.<sup>1</sup>, Мамонова Т.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ТПУ, ИШИНЭС, гр. 6ВМ41ПИШ, e-mail: paa13@tpu.ru

<sup>2</sup> ТПУ, ИШИНЭС, к.т.н., доц., e-mail: stepte@tpu.ru

### Аннотация

В рамках данной работы рассматривается процесс создания и применения цифровых двойников для управления манипуляторами.

Основное внимание уделяется разработке трехмерной модели манипулятора, которая служит основой для создания цифрового двойника.

Описание охватывает этапы моделирования манипулятора в 3D-среде, интеграцию модели в систему цифровых двойников, а также методы управления всеми осями манипулятора на основе этой модели.

В результате предполагается улучшение эффективности управления и мониторинга манипуляторов, что открывает новые возможности для их оптимизации в различных прикладных задачах.

### Введение

Цифровые двойники становятся неотъемлемой частью современной индустрии благодаря их способности создавать точные виртуальные копии реальных объектов и систем. В управлении и оптимизации манипуляторов они играют ключевую роль, обеспечивая не только мониторинг, но и прогнозирование поведения систем в реальном времени. Использование цифровых двойников для манипуляторов позволяет более точно контролировать движение, прогнозировать износ деталей и повышать общую эффективность управления.

В данном докладе будет рассмотрен процесс создания цифровых двойников для манипуляторов, начиная с разработки трёхмерной модели и заканчивая внедрением её в систему управления. Основное внимание будет уделено этапам моделирования, интеграции модели с реальными системами, а также применению методов управления для оптимизации работы манипуляторов.

### Принцип работы цифровых двойников для управления манипуляторами.

Создание и интеграции модели манипулятора в компьютерной среде основано на информации, взятой из [1, 2] и содержит несколько этапов, представленных ниже.

1. Создание 3D-модели манипулятора (рис. 1): в основе работы цифрового двойника лежит создание детализированной трёхмерной модели манипулятора с использованием программного обеспечения для 3D-моделирования. На этом этапе была разработана модель, которая включает все основные компоненты манипулятора, такие как звенья, суставы и механизмы вращения.

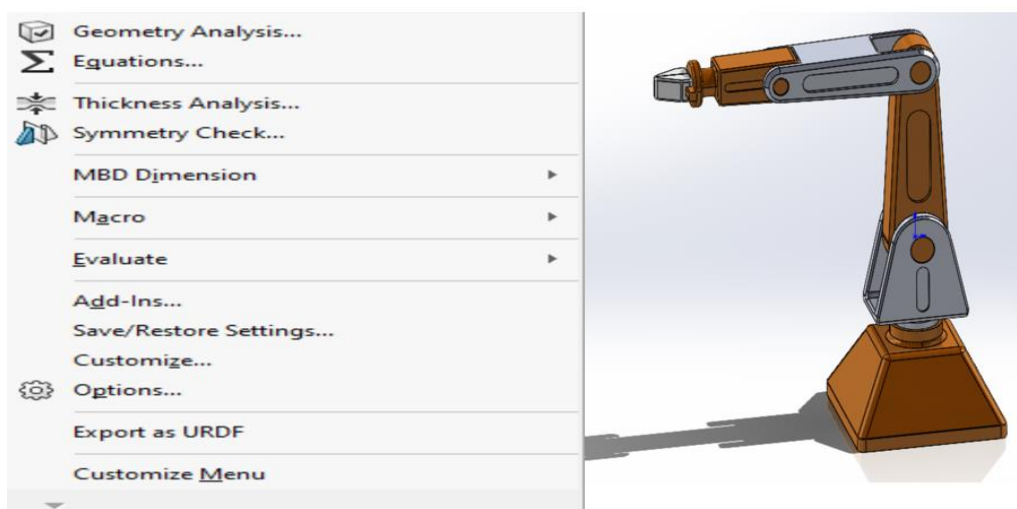


Рис. 1. 3D-модель манипулятора

2. Определение взаимосвязей осей (рис. 2): важным этапом является настройка всех взаимосвязей между осями манипулятора. Здесь выполняется определение координатных систем для каждого звена, а также описание углов поворота и ограничений движения, что необходимо для правильной симуляции поведения манипулятора в виртуальной среде.

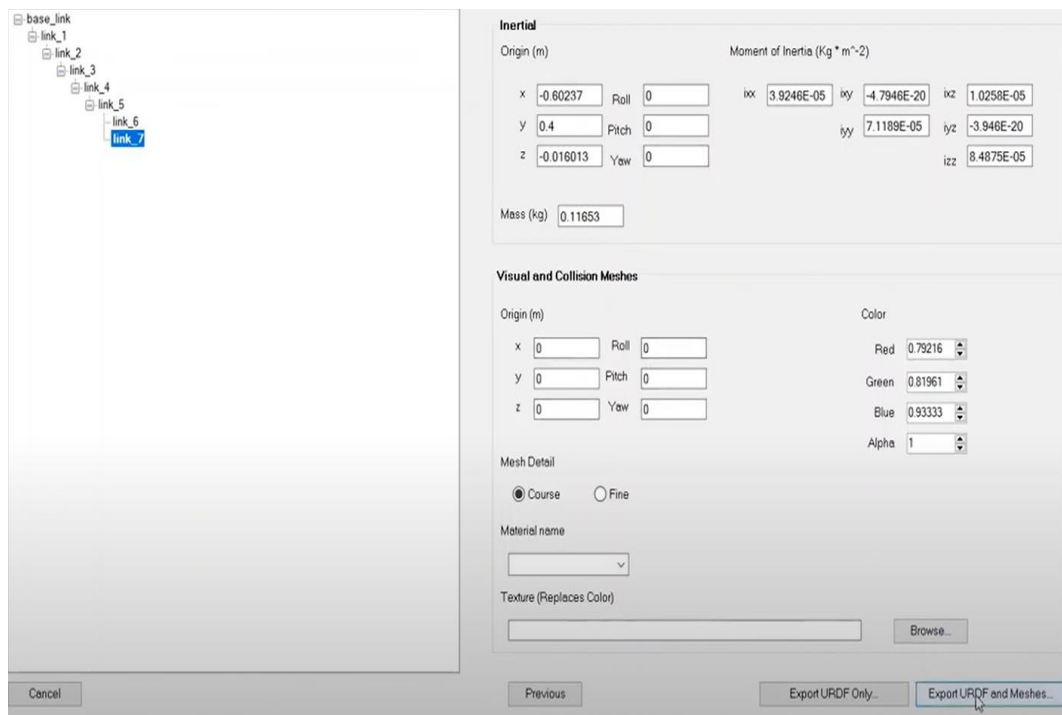


Рис. 2. Определение взаимосвязей осей

3. Генерация файла URDF (рис. 3): после создания 3D-модели была выполнена генерация файла URDF (Unified Robot Description Format), который содержит описание робота: длины его звеньев, количество суставов, их позиции, пределы движений, а также инерционные свойства и массы каждого элемента. Этот файл является ключевым элементом для интеграции модели манипулятора в системы робототехники на базе ROS (Robot Operating System).

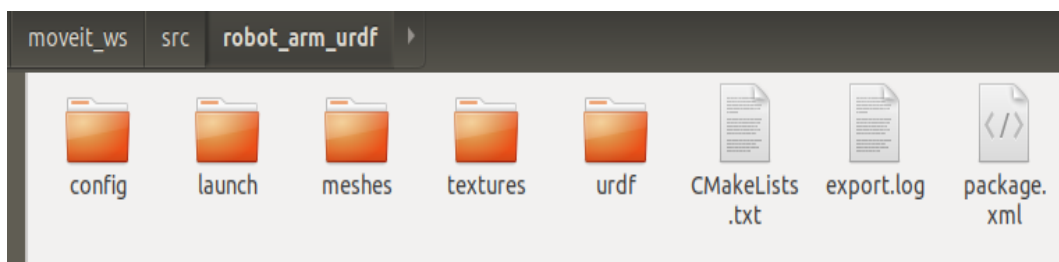


Рис. 3. Генерация файла URDF

4. Экспорт пакета ROS из 3D-моделирования: экспорт пакета включает несколько основных файлов и директорий:

- config: файл с именами суставов, которые были указаны в URDF;
- launch: файлы для запуска робота в симуляционных средах, таких как Rviz и Gazebo;
- meshes: stl-файлы всех звеньев робота;
- URDF: файл с полным описанием структуры и характеристик робота, показанный на рис. 4;
- CMakeLists.txt и package.xml: файлы, отвечающие за сборку пакета ROS и установку зависимостей.



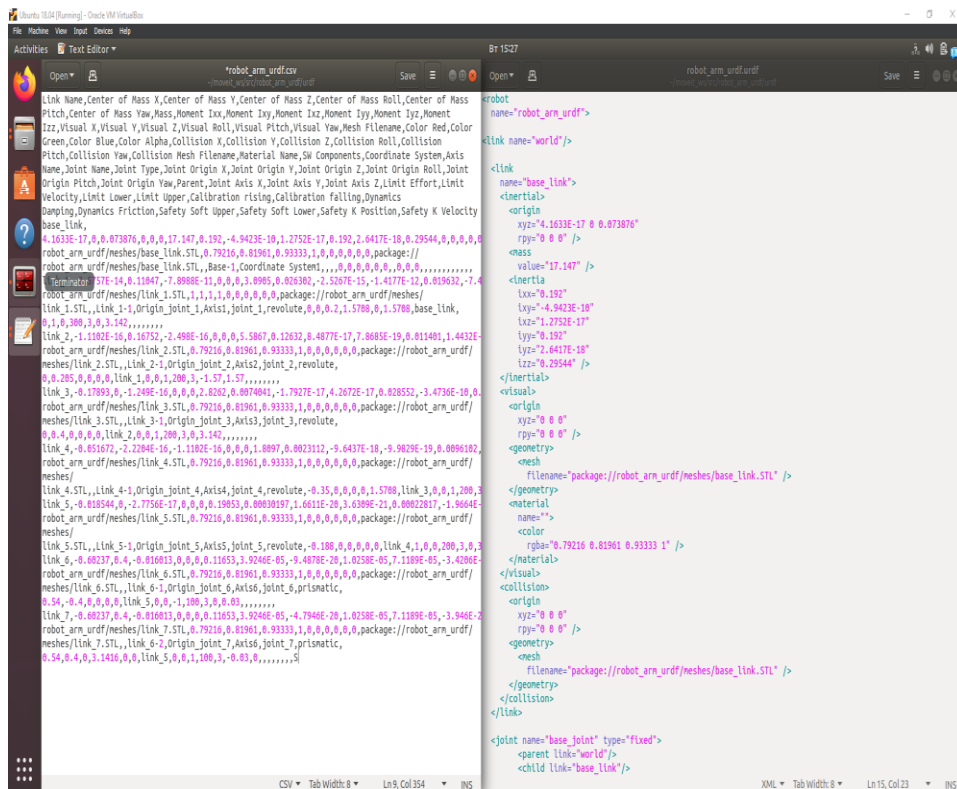


Рис. 4. Код URDF и CSV

5. Интеграция в ROS и запуск симуляции: полученный пакет может быть интегрирован в ROS и скопирован в рабочую директорию Catkin Workspace. После этого пользователь может запустить симуляцию манипулятора с помощью Rviz или Gazebo, однако для полноценного управления необходимо внести изменения в пакет.

В результате мы создаем компьютерную модель манипулятора, с помощью которой можно выполнять исследования движения реального объекта. Для подачи управляющих команд на реальный объект требуется настройка дополнительных компонентов, таких как Moveit, для управления движениями.

### Процесс запуска робота в GAZEBO с использованием ROS [3-5].

Данный процесс включает в себя запуск симуляции робота в GAZEBO на основе пакета ROS, сгенерированного для манипулятора. Следуя шагам, указанным ниже, можно подготовить и запустить робота в симуляционной среде GAZEBO.

1. Запуск ROS Master: откройте терминал и выполните следующую команду для запуска ROS Master: «(bash \$ roscore)». Оставьте этот терминал открытым.
2. Открытие второго терминала: откройте новый терминал для дальнейших действий.
3. Переход в рабочую директорию: перейдите в вашу рабочую директорию Catkin Workspace: «(bash (\$ cd ~/moveit\_ws))».
4. Подключение файла setup.bash: подключите файл `setup.bash` для активации среды разработки ROS: «(bash \$ source devel/setup.bash)».
5. Сборка рабочей области: если проект ещё не был собран после внесённых изменений, выполните сборку: «(bash \$ catkin build)».
6. Повторное подключение файла setup.bash: после успешной сборки снова подключите файл setup.bash: «(bash \$ source devel/setup.bash)».
7. Запуск файла конфигурации для робота: теперь вы можете запустить файл `launch`, который отвечает за загрузку вашего робота в GAZEBO. Используйте следующую команду bash «(\$ roslaunch your\_package\_name launch\_file\_name.launch)».

В рассматриваемом случае это может выглядеть следующим образом: bash «(\$ roslaunch robot\_arm\_urdf arm\_urdf.launch)».

Запуска робота в GAZEBO представлен на рис 5.

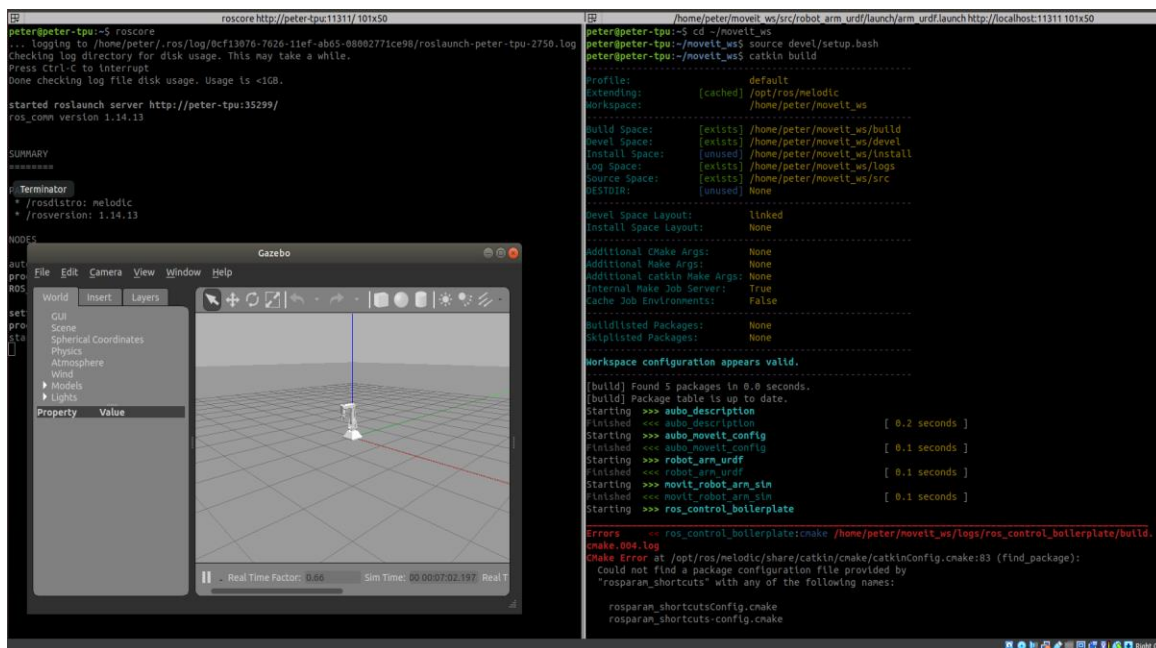


Рис. 5. Запуска робота в GAZEBO

## Заключение

В данном исследовании был представлен процесс создания и применения цифрового двойника для управления и оптимизации манипулятора. Цифровой двойник, разработанный на основе 3D-модели, позволяет виртуально тестировать и контролировать движения манипулятора, что значительно повышает его производительность и точность в реальных условиях эксплуатации.

Использование среды ROS в сочетании с симуляцией в GAZEBO даёт возможность не только детализировать физические свойства системы, но и предлагать инновационные решения для управления её осями. Применение цифровых двойников открывает перспективы для дальнейшего улучшения робототехнических систем и упрощения процессов их тестирования, без необходимости физической эксплуатации оборудования.

Данный подход также ускоряет внедрение новых технологий в индустрию, делая их более доступными для широкого круга задач.

## Список использованных источников

1. Лобанов А.А., Сапожников К.А., Чичигин Д.А. Применение цифровых двойников в управлении роботизированными манипуляторами // Инженерные науки. – 2022. – № 15. – С. 38-45. [Электронный ресурс] – URL: Цифровой двойник в системе внешнего адаптивного управления роботами-манипуляторами (cyberleninka.ru) (дата обращения: 19.09.2024).
2. Koubâa A., Shakhatareh H., Khalil I. A comprehensive introduction to Robot Operating System (ROS) // Springer International Publishing. – 2019. – 746 p. [Электронный ресурс] – URL: Robot Operating System (ROS): The Complete Reference (Volume 7) | SpringerLink (дата обращения: 19.09.2024).
3. Quigley M., Gerkey B., Smart W.D. Programming Robots with ROS: A Practical Introduction to the Robot Operating System. – O'Reilly Media. – 2015. – 448 p. [Электронный ресурс] – URL: Programming Robots with ROS[Book] (oreilly.com) (дата обращения: 19.09.2024).
4. Форсайт Г. Виртуальные испытания роботизированных систем в среде GAZEBO // Компьютерная инженерия. – 2021. – № 8. – С. 12-18. [Электронный ресурс] – URL: 10.160.178.20\_4EB1G4M9JW8TTMVGW7LTV95AT9FDPVV5Y5N\_WUIF74KVJMR8WP\_F\_Dobrokvashina.pdf - Яндекс Документы (yandex.ru) (дата обращения: 19.09.2024).
5. Bruno Siciliano, Lorenzo Sciavicco, Luigi Villani, Giuseppe Oriolo. Robotics: Modelling, Planning and Control // Springer Science & Business Media. – 2010. – 632 p. [Электронный ресурс] – URL: (73) B. Sicilliano -Robotics. Modelling, Planning and Control | Jose Luis Leon Torres - Academia.edu (дата обращения: 19.09.2024).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ

Маслов А.А., Половников В.Ю.  
ТПУ, ИШЭ, e-mail: aam178@tpu.ru

### Введение

Проведенный в [1] анализ показывает, что проблема загрязнения окружающей среды объективно существует, и мировое сообщество должно осуществлять какие-то действия с целью снижения антропогенной нагрузки. При этом в [1] отмечается, что ни ветрогенераторы, ни солнечные панели в обозримом будущем, не смогут внести сколько-нибудь значимый вклад в энергоснабжение. Одним из путей решения этой задачи является, устойчиво растущее во всем мире [2], использование геотермальных источников тепла.

Цель работы – моделирование работы геотермальной скважины с учетом реальных характеристик геологического разреза.

### Описание алгоритма

Прототипом рассматриваемой конструкции геотермальной скважины является реальный объект, геометрические и физические параметры которого описаны в [3]. На рис. 1 приведена схема области решения рассматриваемой задачи.

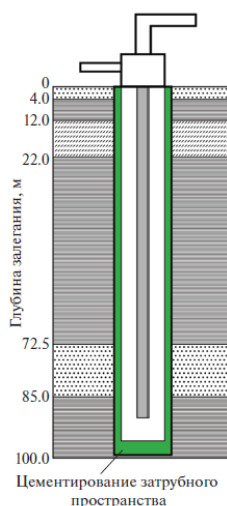


Рис. 1. Конструкция скважины [3]. Породы по глубине залегания, м:  
0-4 – песок; 4-12 – глина; 12-22 – глинистый песок; 22.0-72.5 – глина; 72.5-85.0 – песок; 85-100 – глина

Предполагается, что до начала эксплуатации скважины в рассматриваемой области решения (рис. 1) поддерживается постоянная температура, равная температуре горячих пород. В момент времени отличный от нуля начинает прокачиваться энергоноситель, температура которого ниже, чем начальная температура в области решения. На внутренней границе вводятся граничные условия третьего рода, а на внешней границе выставляются граничные условия первого рода.

Допущения, при которых решалась рассматриваемая задача, являются широко распространенными, не требующими специальных пояснений и сводятся к следующим положениям.

1. Не учитывается зависимость теплофизических свойств от температуры.
2. Учитывается только кондуктивный перенос тепла.
3. Выполняются условия симметрии, идеальной тепловой изоляции и теплового контакта.
4. Не учитывается термическое сопротивление стенки трубопровода и фазовые переходы.

Моделирование выполнено с использованием средств и функций пакета прикладных программ Comsol. Постановка задачи аналогична, описанной в [4].

На рис. 2 представлены наиболее типичные результаты численного анализа процессов теплопереноса при эксплуатации геотермальных скважин с учетом изменения теплофизических свойств пород/грунтов по глубине.

Моделирование выполнено для тридцатилетнего периода эксплуатации геотермальной скважины, как одного из типичных сроков работы рассматриваемого объекта. При этом основное внимание было сконцентрировано на влиянии нестационарности теплопереноса на интенсификацию процессов переноса тепла.

Адекватность результатов численного анализа подтверждается варьированием сеточных параметров, балансом энергии на границах области расчета и сопоставлением результатов исследований с литературными данными. Сеточные параметры, выбираемые из условий сходимости и устойчивости решений. Отклонение по балансу энергии составляло не более 0.5 %.

Сопоставление результатов исследования с известными работами, например [3, 4], по анализу режимов работы геотермальных скважин, позволяет говорить об их хорошем качественном согласовании. При этом следует отметить, что геометрия области решения в настоящей работе соответствует описанной в [3], а характер изменения температурных полей идентичный.

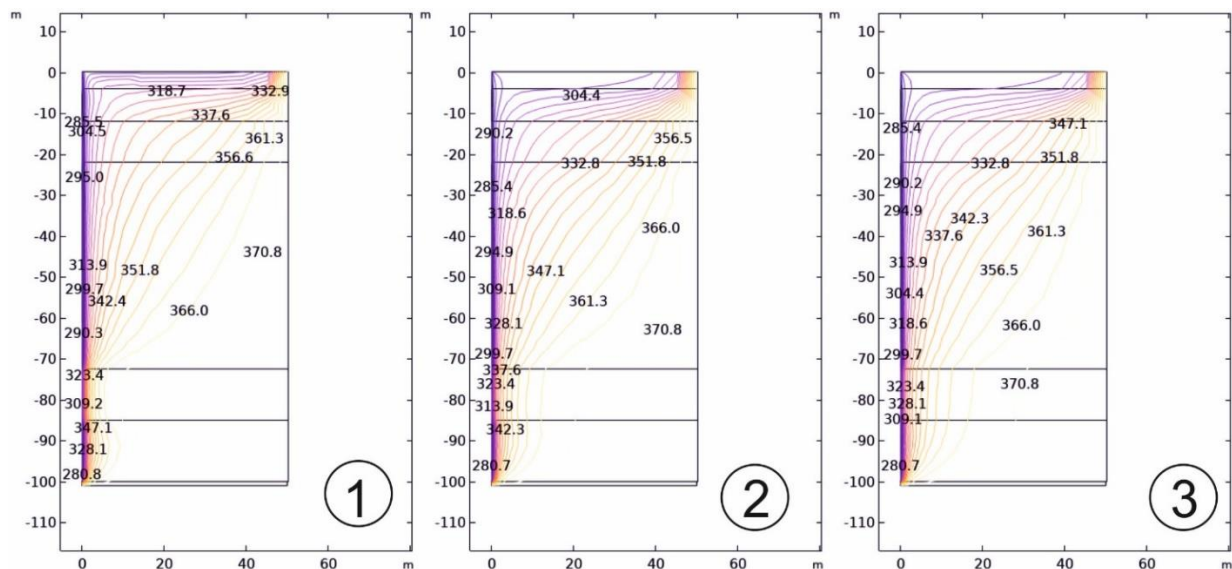


Рис. 2. Результаты моделирования работы геотермальной скважины:  
1 – 5 лет эксплуатации; 2 – 15 лет эксплуатации; 3 – 30 лет эксплуатации

Характер изменения координат изотермических линий в рассматриваемой области решения (рис. 2) позволяет сделать вывод об их зависимости от теплофизических характеристик пород/грунтов в соответствии с усредненным геологическим разрезом (рис. 1). Эти результаты должны учитываться при проектировании, строительстве и эксплуатации геотермальных скважин.

## Заключение

Показана целесообразность учета зависимости теплофизических характеристик пород/грунтов в соответствии с параметрами геологического разреза.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 23-29-00464).

## Список использованных источников

1. Бульба Е.Е., Кузнецов Г.В., Швайбович М.И. Оценка перспектив использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии в ближайшие двадцать лет // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 2. – С. 164–172.
2. Шулюпин А.Н., Варламова Н.Н. Современные тенденции в освоении геотермальных ресурсов // Георесурсы. – 2020. – Т. 22. – № 4. – С. 113–122.
3. Алхасов А. Б., Алхасова Д. А., Дибиров М. Г. Комбинированная солнечно-геотермальная система отопления и горячего водоснабжения // Теплоэнергетика. – 2021. – № 7. – С. 58–64.
4. Половников В.Ю., Бульба Е.Е., Шелемехова С.Д., Любимый Е.В. Растепление многолетнемерзлых пород при эксплуатации геотермальных скважин в Восточной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 5. – С. 30–38.

# ПРИМЕНЕНИЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Умаров Г.Е.<sup>1</sup>, Прохоров А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Томский Политехнический Университет, ИШЭ, зр. О-5КМ21, Umarov-ge@outlook.com

<sup>2</sup> Томский Политехнический Университет, к.т.н., доцент, antonprokhorov@tpu.ru

## Введение

Анализ динамической устойчивости генераторов электростанций требует значительных временных затрат, так как в настоящее время основывается на использовании моделей энергосистем большой размерности, представленных системами нелинейных дифференциальных уравнений, для решения которых применяются численные итерационные методы (метод Рунге-Кутты в ПК «Rustab»).

В международной практике для анализа динамической устойчивости энергосистем активно применяются искусственные нейронные сети (ИНС). ИНС используются для классификации случаев нарушения устойчивости [1], адаптивного обнаружения нарушения синхронизма генераторов [2] и прогнозирования характера изменения величин при переходных процессах [3].

Для сокращения времени расчета переходных процессов предлагается использование алгоритмов прогноза временных рядов на базе LSTM-нейронных сетей [4]. Степень сокращения времени расчета зависит от того, какую часть переходного процесса необходимо воспроизвести в программном комплексе для получения корректного прогноза, так как непосредственное прогнозирование временного ряда с помощью ИНС занимает доли секунды (около 330 мс).

## Описание алгоритма

Для моделирования электромеханических переходных процессов с учетом действия противоаварийной автоматики был разработан алгоритм. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

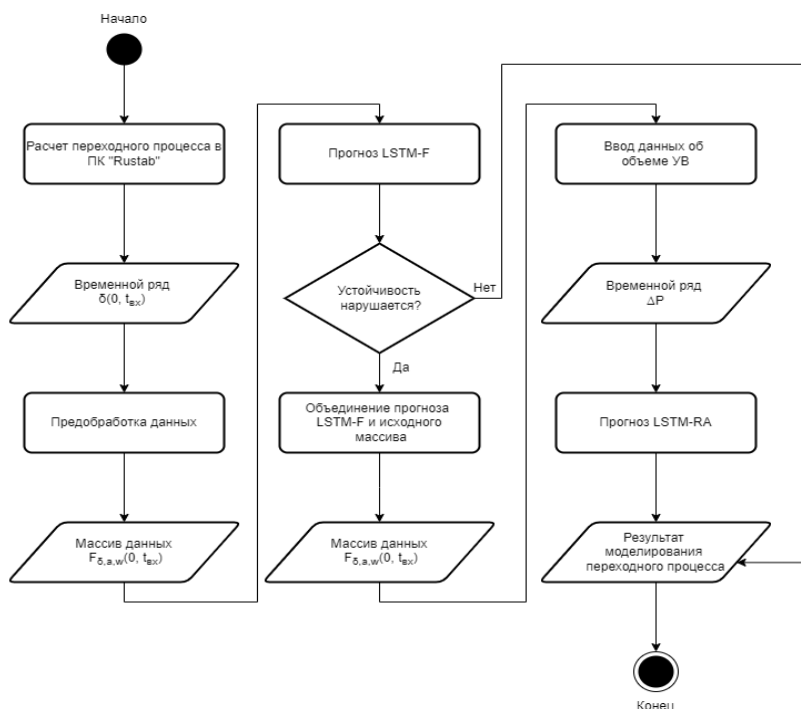


Рис. 1. Блок-схема работы алгоритма.

Алгоритм состоит из следующих основных этапов:

1. Моделирование переходного процесса в ПК «Rustab». На динамической модели ЭЭС производится расчет взаимного угла посредством численного решения дифференциальных уравнений движения, от момента возникновения возмущения ( $t = 0$ ) до момента времени  $t_{вх}$  – равного длине окна наблюдения, принятой на этапе обучения нейронной сети. На выходе, получаем временной ряд  $\delta = \delta 0 \dots t_{вх}$  в формате csv.

2. В блоке «Предобработка» осуществляется преобразование временного ряда  $\delta$  в формат DataFrame, производится расчет первой ( $w$ ) и второй производной ( $a$ ) целевого признака  $\delta$  и формирование массива данных  $F$  (Features).

3. Подготовленный массив данных  $F$  подается на вход ИНС LSTM-F, которая прогнозирует тренд изменения целевых признаков после ликвидации возмущения в пределах от  $t_{вх}+1$  до момента времени  $T$ , определяющего границу окна прогнозирования LSTM-F. На выходе, получаем массив спрогнозированных данных  $F_{пр}$  в формате csv.

4. Объединение массивов  $F$  и части массива  $F_{пр}$  до момента времени  $t'_{вх}$  (граница окна наблюдения LSTM-RA) для получения массива  $F + F_{пр}$

5. Формирование в блоке «Учет УВ» целевого признака  $\Delta P$ , который характеризует изменение суммарной мощности станции после ввода управляющего воздействия (УВ). Для этого из ПК «Rustab» извлекается величина суммарной мощности станции в доаварийном режиме Рд/ав, затем вводятся объем УВ и время его реализации.

6. Подготовленный массив данных  $F + F_{пр}$  и целевой признак  $\Delta P$  подаются на вход LSTM-RA, которая прогнозирует тренд изменения целевых признаков после ввода УВ в пределах от  $t'_{вх}$  до момента времени  $T'$ , определяющего границу окна прогнозирования LSTM-RA. На выходе, получаем массив спрогнозированных данных  $F'_{пр}$  в формате csv.

Алгоритм был детализирован и частично реализован в программе на языке Python.

### Апробация алгоритма

Богучанская ГЭС, находящаяся в Красноярской энергосистеме ОЭС Сибири, была выбрана для апробации алгоритма моделирования переходных процессов. В качестве опорного генератора для расчета углов генератора Богучанской ГЭС использовался генератор Красноярской ГЭС, как наименее электрически удаленный.

В целях формирования выборки, наиболее полно описывающей границы динамической устойчивости для обучения модели LSTM-F было сформировано 60 файлов исходных режимов, с учетом диапазона изменения влияющих факторов, приведенного в таблице 1, и 40 сценариев возмущений (короткие замыкания с отключениями основной защитой или действием УРОВ).

Таблица 1

*Диапазон изменения факторов, влияющих на границу динамической устойчивости*

Влияющий фактор	Диапазон изменения	Шаг
Потребление Кодинской ГПП	20 – 110 МВт	10 МВт
Потребление БоАЗ	465 – 490 МВт	5 МВт
Переток в КС «Тайшет, Ангара – Запад»	2000 – 2400 МВт	100 МВт
Уровень напряжения на шинах 500 кВ Богучанской ГЭС	525 – 520 кВ	1 кВ
Состояние СКРМ на Богучанской ГЭС	0/1	-
Загрузка генерирующего оборудования Богучанской ГЭС	283 – 333 МВт	10 МВт

Переходный процесс был смоделирован для всех комбинаций режимов и сценариев, что привело к формированию 2400 временных рядов. Из этих данных были созданы обучающая, валидационная и тестовая выборки в соотношении 70:10:20.

Для модели машинного обучения заданы следующие параметры: максимальное количество итераций (1500 эпох), количество слоев LSTM (3), размер скрытого слоя (128), длина окна наблюдения (300 мс) и окна прогноза (900 мс). Влияние объема набора данных на качество прогноза представлено в таблице 2.

Таблица 2

*Влияние объёма набора данных на качество прогноза и длительность обучения ИНС*

Объем набора данных	Объем обучающей выборки	MAE	Время обучения ИНС, ЧЧ:ММ:СС
500	392	0,24	4:00.21
750	525	0,22	5:23.31
1000	700	0,21	6:56.92



1500	1050	0,23	11:37.36
1250	875	0,23	8:22.94
1500	1050	0,23	11:37.36

Так как процесс обучения ИНС автоматизирован и не требует участия специалиста, то для дальнейших расчетов выбран объем выборки данных равный 1000 временных рядов, для которого получено наименьшее значение MAE.

Для обучения LSTM-RA были выбраны комбинации режимов и сценариев, в которых наблюдалось нарушение устойчивости. В сценарии был добавлен последовательный ввод ОГ различных ступеней АПНУ. Таким образом, было набрано 721 временной ряд, но для предотвращения переобучения набор данных был сокращен до 600 временных рядов, чтобы соблюсти соотношение устойчивых случаев к неустойчивым в обучающей выборке.

Параметры модели для LSTM-RA были аналогичны LSTM-F, за исключением длины окна наблюдения (400 мс) и окна прогноза (1000 мс).

Обученные модели показали приемлемую точность прогнозов и соблюдение тренда нарушения или сохранения устойчивости на всех случаях тестовой выборки.

### Демонстрация работы алгоритма

Для проверки работоспособности алгоритма, был рассмотрен один из случаев тестовой выборки: значение влияющего фактора в доаварийном режиме – переток 1600 МВт в КС «Тайшет, Ангара – Запад» и возмущение – двухфазное короткое замыкание на землю на КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара № 1 вблизи Богучанской ГЭС с отказом выключателя и действием УРОВ. Прогноз LSTM-F представлен на рис. 2.

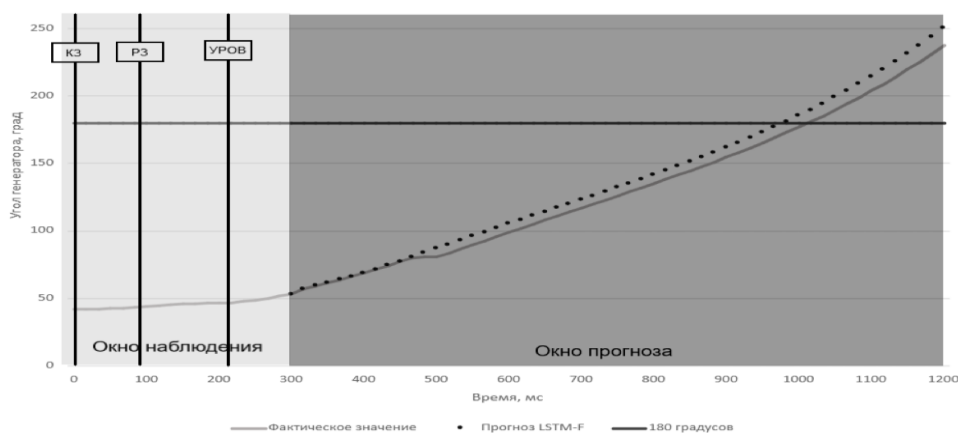


Рис. 2. Прогноз LSTM-F (Нарушение ДУ)

Прогноз LSTM-RA при отключении одного генератора БoГЭС представлен на рис. 3.

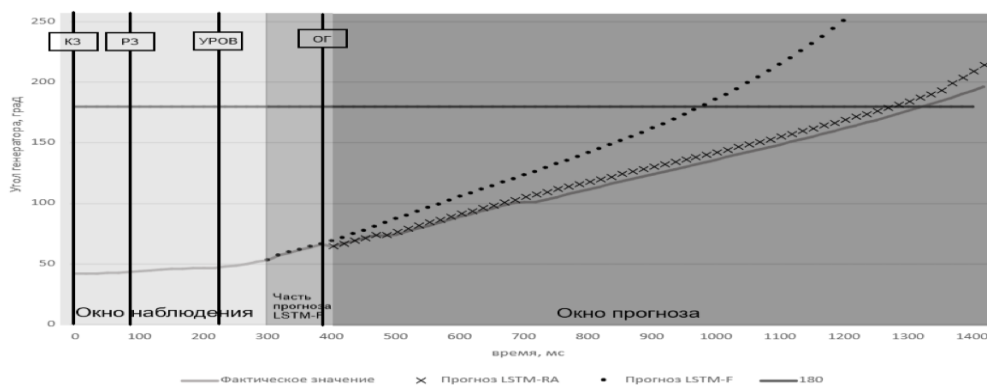


Рис. 3. Прогноз LSTM-RA (Нарушение ДУ)

Прогноз LSTM-RA при отключении двух генераторов БоГЭС представлен на рис. 4.

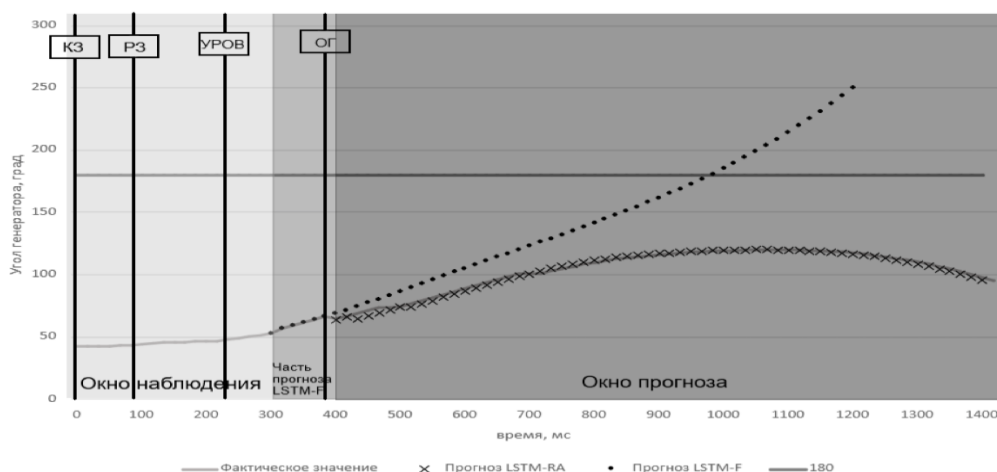


Рис. 4. Прогноз LSTM-RA (Сохранение ДУ)

### Заключение

В работе предложен алгоритм моделирования переходных процессов с использованием искусственных нейронных сетей с долгой краткосрочной памятью, позволяющий сократить время расчета изменения угла ротора генератора в программных комплексах в пределах от 38 % для момента нарушения устойчивости 650 мс до 66,6 % для момента нарушения устойчивости 1200 мс. Если для случаев, содержащих нарушение устойчивости, у технолога имеется инструмент, позволяющий остановить моделирование при обнаружении факта нарушения устойчивости, то для случаев сохранения устойчивости – необходимо моделировать окно расчета, заданное технологом, полностью. Для анализа динамики Богучанской ГЭС величина этого окна составляет 5 с. Таким образом, сокращение времени моделирования устойчивого случая составит 94 %. Разработанный алгоритм предполагает также интеграцию с другими ИУС. Например, для сокращения времени расчетного цикла ИУС СМЗУ, для решения задачи определения МДП по критерию отсутствия нарушения устойчивости при нормативном возмущении.

### Список использованных источников

1. Wang Q., Pang C., Alnami H. Transient stability assessment of a power system using multi-layer SVM method // 2021 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC), 2021. – DOI:10.1109/TPEC51183.2021.9384918.
2. Abdelaziz A.Y., Irving M.R., Mansour M.M., El-Arabaty A.M., & Nosseir A.I. Adaptive detection of generator out-of-step conditions in power systems using an artificial neural network // UKACC International Conference on Control, 1996. – No. 427, 132. – DOI: 10.1049/cp:19960546
3. Küçüktezcan C.F., & Genç V.M. A comparison between ANN based methods of critical clearing time estimation // 2013 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2013. – No. 140. – DOI: 10.1109/ELECO.2013.6713818
4. Wang Q., Pang C., & Alnami H. Transient stability prediction based on long short-term memory network // 2021 North American Power Symposium (NAPS), 2021. – No. 151. – DOI:10.1109/NAPS52732.2021.9654462.



## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СОЗДАНИЯ РАСЧЁТНЫХ ФАЙЛОВ ДЛЯ MSU-PTR

*Балачков М.М.<sup>1</sup>, Федоренко Е.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Томский политехнический университет, Инженерная школа ядерных технологий,  
ассистент ОЯТЦ, mmb2@tpu.ru*

<sup>2</sup> *Томский политехнический университет, Инженерная школа ядерных технологий,  
группа ОАМ41, eaf26@tpu.ru*

### **Введение**

Одной из проблем прецизионных программ для нейтронно-физических расчётов ядерных реакторов заключается в отсутствии пользовательского интерфейса (большинство расчётных моделей пишутся в текстовых редакторах), невозможности быстро создавать расчётные файлы и редактировать параметры в них. Решением является создание отдельных программ, которые способны быстро генерировать исходные файлы для расчётных программ, но при этом теряя гибкость изначального подхода таких кодов.

В данной работе представлено описание и возможности разработанной программы, предназначенной для создания исходных файлов для прецизионной программы MSU-PTR. Разработанная программа приспособлена для создания исходных файлов для проведения нейтронно-физических расчётов ядерных реакторов с водяным теплоносителем и с широким спектром материалов топлива и оболочки.

### **Описание программы**

Данная программа написана на языке Wolfram Language. Для ввода данных необходимо использовать в качестве десятичного разделителя точку, а не запятую, иначе программа выдаст ошибку.

В написанной программе присутствуют 5 вкладок.

Первая вкладка – «Топливо». Она разделена на секции. В первой секции задаётся плотность топлива. Во второй – доли ядер содержащихся в топливе ( $\text{Th}^{232}$ ,  $\text{U}^{233, 235, 238}$ ,  $\text{Pu}^{238-242}$ ). В третьей – количество атомов разбавителя в молекуле топлива (O, N, C). Такой набор разбавителей позволяет рассчитывать традиционное оксидное и перспективные нитридное и карбидное топлива. В последней секции задаются параметры матрицы: объёмная доля матрицы, плотность матрицы, доля ядер в молекуле матрицы (Si, Al, Mo). В дальнейшем планируется расширить список возможных материалов матриц, что позволит вести расчёты не только традиционного топлива, но и перспективного дисперсионного ядерного топлива (ДЯТ), к примеру, для атомных станций малой мощности (АСММ) или ядерных реакторов для ледокольного флота (КЛТ-40). Последний параметр на этой вкладке – средняя температура топлива и матрицы.

Вторая вкладка – «Вода». В ней задаются температуры и давления воды на входе и выходе из активной зоны ядерного реактора. После ввода параметров необходимо нажать на кнопку «Рассчитать плотность воды», далее в соответствующих полях появятся плотности воды на входе и выходе из активной зоны. Расчёт плотностей происходит с помощью встроенной функции «ThermodynamicData[]», которая опирается [1] на [2].

Изначальные параметры воды соответствует давлению 16 МПа и температуре на входе в активную зону – 289 °С и на выходе из активной зоны – 320 °С, что типично для реакторов типа ВВЭР-1000 [3, 4]. В дальнейшем планируется добавить другие виды теплоносителей (натрий, свинец, эвтектики: Na-K, Pb-Bi).

Третья вкладка – «Оболочка». В первой секции задаётся плотность оболочки, количество ядер в молекуле оболочки и средняя температура оболочки. Изначально задан сплав Э-125. С заданным набором материалов возможен расчёт как традиционных оболочек на основе циркония, так и различных видов сталей. В дальнейшем планируется расширить список возможных химических элементов для обеспечения расчётов более перспективных оболочек, разрабатываемых для концепции толерантного ядерного топлива. Во второй секции задаются параметры газового зазора: плотность гелия и его средняя температура.

Следующая вкладка – «Геометрия» разделена на несколько секций. В первой задаются параметры топливной таблетки: внутренний и внешний радиусы топливной таблетки и количество разбиений по радиусу топливной таблетки. При задании отличного от нуля внутреннего радиуса топливной

таблетки, будет считаться, что внутри есть отверстие заполненное гелием, параметры которого аналогичны гелию в газовом зазоре. Такой подход позволяет моделировать как топливные таблетки современных реакторов типа ВВЭР, так и перспективные топливные таблетки без центрального отверстия для других типов реакторов.

Следующая секция связана с параметрами твэла. Сюда входят следующие параметры: высота твэла; количество разбиений по высоте твэла; внутренний и внешний радиус оболочки твэла. Если задать внутренний радиус оболочки твэла равным внешнему радиусу топливной таблетки, то газовый зазор будет отсутствовать, что позволяет моделировать как традиционные реакторы типа ВВЭР, так и ледокольные КЛТ-40С.

В третьей секции – «Параметры элементарной ячейки» один параметр: шаг расстановки твэлов под ключ. Таким образом возникает ограничение на форму расстановки твэлов – она может быть либо шестиугольной, либо треугольной. Квадратную расстановку твэлов планируется добавить в будущем. В последней секции схематично показана элементарная ячейка с видом сверху, если изменить геометрические параметры, то элементарная ячейка будет создана в соответствии с ними.

Следующая вкладка – «Создание файла». На ней присутствует кнопка «Расчитать концентрации», необходимая для перерасчёта ядерных концентраций при изменении исходных параметров, а ниже приведены таблицы со значениями ядерных концентраций в формате необходимом для MCU-PTR. Для каждого материала элементарной ячейки существует своя таблица (топливо, теплоноситель, оболочка, газовый зазор), в которой перед началом расчёта можно проверить корректность введённых данных. Для первой таблицы параметры задаются на первой вкладке программы («Топливо»), для второй – на второй («Вода»), а для третьей и четвёртой – на третьей («Оболочка»).

Расчёт ядерных концентраций для сложных веществ при различном ядерном содержании нуклидов можно провести по следующей формуле [4]:

$$N = \frac{N_A \cdot \rho}{\mu} \cdot n \cdot c, \quad (1)$$

где  $N$  – ядерная концентрация нуклида;

$N_A$  – число Авогадро,  $\rho$  – плотность материала,  $\mu$  – молярная масса материала,  $n$  – число атомов изотопов рассматриваемого нуклида в одной молекуле материала,  $c$  – доля ядер рассматриваемого нуклида.

В программе реализован последовательный расчёт молекулярной концентрации материала:

$$N_{\text{мол}} = \frac{N_A \cdot \rho}{\mu} \cdot \sigma, \quad (2)$$

где  $N_{\text{мол}}$  – молекулярная концентрация;

$\sigma$  – множитель равный  $10^{-24}$ , необходимый для корректной записи ядерной концентрации в MCU-PTR, а затем расчёт ядерной концентрации:

$$N = N_{\text{мол}} \cdot c', \quad (3)$$

где  $c'$  – доля атомов нуклида в молекуле вещества.

Новая переменная  $c'$  по сути является произведением  $n \cdot c$  и является индексом в химической формуле вещества.

Молекулярная концентрация топлива зависит от объёмной доли матрицы, в формулу (2) добавляется множитель равный объёмной доли топлива:

$$N_{\text{мол}} = \frac{N_A \cdot \rho}{\mu} \cdot \sigma \cdot (1 - c_{V\text{Matrix}}), \quad (4)$$

где  $c_{V\text{Matrix}}$  – объёмная доля матрицы.

Для матрицы добавляется множитель равный объёмной доли матрицы:

$$N_{\text{мол}} = \frac{N_A \cdot \rho}{\mu} \cdot \sigma \cdot c_{V\text{Matrix}}. \quad (5)$$

При этом молекулярная масса вещества не зависит от объёмной доли матрицы, она рассчитывается только исходя из состава молекулы и является средневзвешенной молярной массой вещества:

$$\mu = \sum_{i=1}^m \mu_i \cdot c'_i, \quad (6)$$

где  $m$  – количество сортов нуклидов в молекуле,  $\mu_i$  – молярная масса  $i$ -го нуклида,  $c'_i$  – доля атомов  $i$ -го нуклида в молекуле вещества.

Внизу вкладки есть поле для пути создания файла и кнопка для создания файла и запуска его на расчёт. Стоит отметить, что если до создания файла в той же директории находился другой файл с таким же названием, то он будет удалён, и вместо него создан новый.

Автоматически выбирается путь расположения файла написанной программы, но его можно изменить в соответствующем поле.

После нажатия кнопки «Создание файла для MCU и его запуск», в указанной директории будет создан файл со следующей структурой:

1. Физический модуль.

Описываются материалы, их температуры и ядерные концентрации нуклидов, входящих в их состав.

2. Геометрический модуль.

Задаются граничные условия для шестигранной призмы (элементарная ячейка): верхний торцы абсолютно чёрные для нейтронов, боковые стороны отражают все падающие на них нейтроны, тем самым обеспечивается расчёт бесконечного по радиусу реактора (в дальнейшем планируется добавить учёт утечки нейтронов через боковую стенку реактора).

Создаётся центральное отверстие с гелием. Если его радиус равен 0, оно так же создаётся, но с нулевым радиусом, что фактически означает его отсутствие.

Топливо разбивается на концентрические цилиндрические кольца, количество которых равно указанному ранее разбиению по радиусу, умноженному на количество разбиений по высоте. Все параметры в топливе одинаковые, то есть температуры и концентрации во всех телах одинаковые.

3. Модуль источника.

Начальный источник нейтронов расположен в центре твэла и является точечным. Спектр представляет собой спектр деления  $U^{235}$ . После прохождения нескольких поколений нейтроны будут рождаться во всех точках топливного столба, а их спектр рождающихся нейтронов придёт к виду спектра деления для указанного материального состава.

4. Модуль регистрации.

Нейтроны регистрируются по длинам треков для скорости реакции деления в концентрических цилиндрических кольцах и отдельно в разбиениях только по высоте топливного столба.

5. Модули данных для моделирования и управления расчётом.

Количество нейтронов в одном поколении равно 2000, количество поколений в одной серии равно 50, всего 10 независимых серий и дополнительно одна с самым большим отклонением отбрасывается. То есть рассчитывается 11 независимый серий. В учёт статистики, таким образом, попадает  $2000 \cdot 50 \cdot 10 = 10^6$  нейтронов. В дальнейшем планируется создать функционал для манипулирования этими параметрами.

Создается файл с расширением «.bat» для запуска MCU-PTR. Количество одновременно запущенных процессов равно 6, то есть будет рассчитано 6 млн нейтронов. Одновременно запущенные процессы позволяют использовать более одного ядра центрального процессора для расчётов. В дальнейшем планируется создать функционал изменения количества одновременно запущенных процессов. После окончания расчёта остаются только 2 файла: исходный файл и файл с именем начального файла (включая расширение начального файла) с расширением «.FIN».

## Заключение

Таким образом, данная программа позволяет автоматизировать создания расчётных файлов для программы MCU-PTR. Спектр моделируемых реакторов довольно обширный и ограничивается в основном: шестиугольной элементарной ячейкой; невозможностью задания отдельных материалов для теплоносителя и замедлителя нейтронов; материалами теплоносителя. В дальнейшем планируется доработать программу для устранения перечисленных недостатков.

Так же планируется добавить функционал для интерпретации полученных в результате расчёта данных в распределение энерговыделения по высоте и радиусу топливного столба с дальнейшим импортом данных в пакет программ ЛОГОС.

Работа выполнена в рамках НИОКТР ПИШ-НИР-2024-006 №124070500010-4

### **Список используемых источников**

1. ThermodynamicData Source Information&mdash;Wolfram Language Documentation: сайт – 2024 – URL: <https://reference.wolfram.com/language/note/ThermodynamicDataSourceInformation.html> : (Дата обращения 21.09.2024). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
2. Lemmon E., Huber M., McLinden M. NIST standard reference database 23: reference fluid thermodynamic and transport properties-REFPROP, Version 9.1, Natl Std. Ref. Data Series (NIST NSRDS) //(No Title). – 2013.
3. Колпаков Г.Н. Конструкции твэлов, каналов и активных зон энергетических реакторов: учебное пособие / Г.Н. Колпаков, О.В. Селиваникова. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 118 с.
4. Беспалов В.И. Лекции по радиационной защите : учебное пособие / В.И. Беспалов ; Томский политехнический ун-т. – 5-е изд., расшир. – Томск : Изд-во Томского политехнического ун-та, 2017. – 695 с.

## МОДЕЛЬ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ПРИЗМЫ С PU-BE ИСТОЧНИКОМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Животовский А.А.<sup>1</sup>, Балачков М.М.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ТПУ, ИЯТШ, ОАМЗ1, e-mail: aaz75@tpu.ru

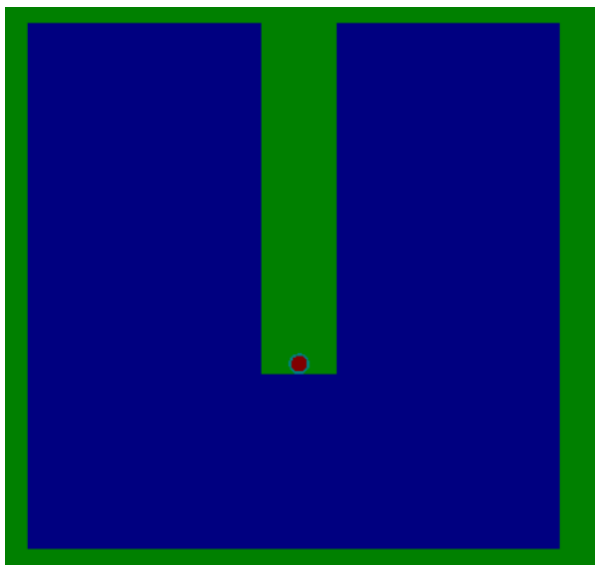
<sup>2</sup> ТПУ, ИЯТШ, ассистент (ОЯТЦ, ИЯТШ), e-mail: mmb2@tpu.ru

### Введение

Целью данной работы является создание и изучение модели полиэтиленовой призмы с Pu-Be источником для моделирования защитных свойств различных материалов в программном комплексе MCU-PTR [1]. Такая модели может использоваться для оценки эффективности материалов при ослаблении нейтронных потоков и радиационного воздействия. Исследования нейтронного потока имеют важное значение для разработки защитных экранов в ядерной физике, так как позволяют точно прогнозировать уровень радиационной защиты при использовании разных материалов. Модель полиэтиленовой призмы с источником нейтронов позволяет проводить расчёты, сопоставляя их с экспериментальными данными, что даёт возможность более точно оценить симуляции и выбрать оптимальные материалы для защиты от радиации.

### Основная часть

В рамках работы была разработана модель полиэтиленовой призмы с источником Pu-Be. На рис. 1 представлен горизонтальный разрез модели.



*Рис. 1. Горизонтальное сечение модели полиэтиленовой призмы:  
синий – полиэтилен; зелёный – воздух; красный – материала источника;  
бирюзовый – материал кожуха источника*

С помощью этой модели могут быть рассчитаны защитные свойства различных материалов. Имеются данные по ослаблению нейтронного потока для образцов из железа и плотного полиэтилена, что позволяет провести сравнение экспериментальных и вычисленных значений. Кроме того, в исследованиях [2-4] приводятся экспериментальные данные по ослаблению нейтронных потоков схожих материалов. Эти данные позволяют провести детальное сравнение результатов моделирования, а также оценить точность модели.

Пример призмы с каналом, заполненным полиэтиленовыми образцами, показан на рис. 2.

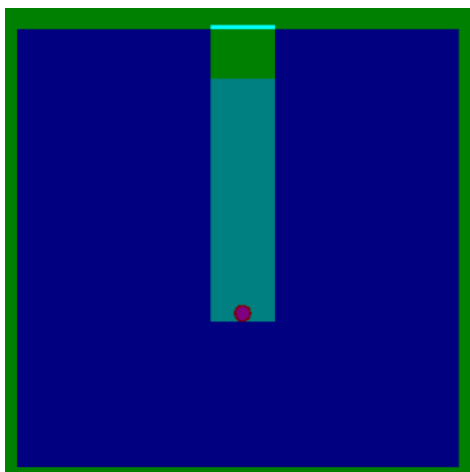


Рис. 2. Горизонтальное сечение модели полиэтиленовой призмы с полиэтиленовыми образцами:  
 синий – полиэтилен; зелёный – воздух; – материала источника;  
 красный – материал кожуха источника; темно-бирюзовый – материал образца;  
 светло-бирюзовый – детектор

Полученные данные моделирования, рис. 3, были сопоставлены с результатами расчётов и экспериментальными данными [2-4]. Это сравнение позволило выявить определённые расхождения, которые, вероятно, были вызваны допущениями при моделировании или погрешностями экспериментальных данных.

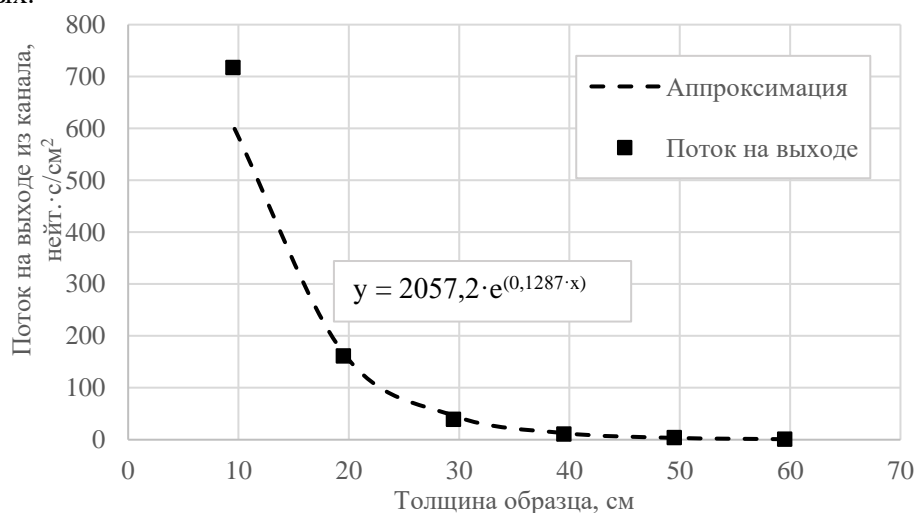


Рис. 3. Результаты моделирования ослабления потока при прохождении через полиэтиленовые образцы

### Заключение

В результате работы создана модель полиэтиленовой призмы с источником Pu-Be для оценки эффективности защитных материалов. Модель позволяет проводить расчёты и сравнения с экспериментальными данными, что даёт возможность выбирать оптимальные материалы для защиты от нейтронного излучения.

### Список использованных источников

1. Alekseev N.I. et al. MCU-PTR program for high-precision calculations of pool and tank type research reactors // Atomic energy. – 2011. – Т. 109. – С. 149–156.
2. Kumar A., Nagarajan P.S. Neutron spectra of <sup>239</sup>Pu-Be neutron sources // Nuclear Instruments and Methods. – 1977. – Т. 140. – № 1. – С. 175–179.
3. Машкович В.П., Кудрявцева А. В. Защита от ионизирующих излучений. – 4-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.
4. Mansouri E. et al. A review on neutron shielding performance of nanocomposite materials // International Journal of Radiation Research. – 2020. – Т. 18. – № 4. – С. 611–622.

# РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПАССИВНОГО ОТВОДА ТЕПЛА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЛОГОС

Волков Р.А.<sup>1</sup>, Семенов А.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ТПУ, ИЯТШ, ОАМ41, e-mail: rav9@tpu.ru

<sup>2</sup> ТПУ, ОЯТЦ/ИЯТШ, Доцент, e-mail: semenov ao@tpu.ru

## Введение

В разрабатываемых проектах АЭС с реакторами ВВЭР, в соответствии с современными требованиями принимаются новые технические решения, направленные на повышение безопасности реакторных установок. Причем тенденция заключается в уменьшении доли энергозависимых систем безопасности в пользу пассивных.

Так, одной из перспективных систем безопасности может являться система пассивного отвода тепла, задачей которой является обеспечение надежного охлаждения активной зоны реактора во время возникновения внештатных ситуаций.

Анализ эффективности теплоотвода такой системы, с использованием отечественного пакета программ ЛОГОС, взамен аналогов ушедших с российского рынка, позволит прогнозировать ее поведение в целом.

Таким образом целью работы являлось моделирование системы пассивного отвода тепла в программном комплексе ЛОГОС.

Для достижения поставленной цели, требовалось решение ряда задач:

1. Разработка модели системы пассивного отвода тепла АЭС в программном комплексе ЛОГОС.
2. Определение температурных режимов СПОТ.
3. Исследование влияния погодных условий на температурные режимы системы СПОТ.

## Основная часть

В данной работе рассматривался естественный теплообмен между баком аварийного отвода тепла системы СПОТ (далее по тексту – БАОТ) и окружающей средой. Естественный теплообмен подразумевает, что скоростью движения воздуха в условиях задачи можно пренебречь. На рис. 1 показан пример такого теплообмена.

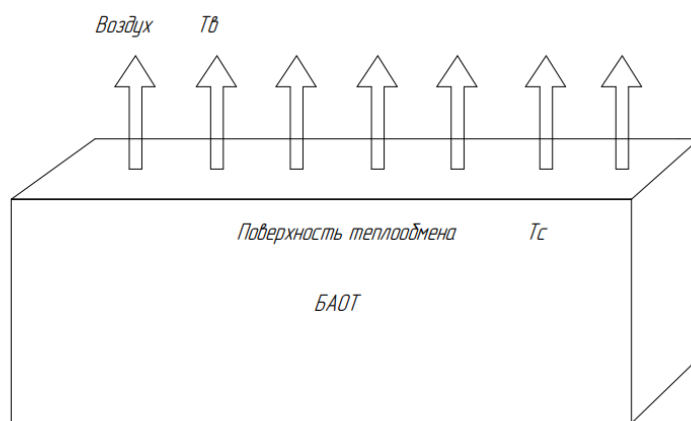


Рис. 1. Естественный теплообмен между БАОТ и воздухом

Уравнение теплообмена между системой СПОТ и окружающей средой в общем случае выглядит следующим образом:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha \cdot S \cdot (T_c - T_b), \quad (1)$$

где  $\frac{dQ}{dt}$  – скорость изменения количества теплоты, передаваемое от системы СПОТ к воздуху в единицу времени;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, характеризующий интенсивность теплообмена между системой СПОТ и воздухом;

$S$  – площадь поверхности, через которую происходит теплообмен;

$T_C$  – температура системы СПОТ;

$T_B$  – температура окружающей среды.

Аналитическое решение данного уравнения:

$$Q(t) = Q_0 + \alpha \cdot S \cdot (T_C - T_B) \cdot t, \quad (2)$$

где  $Q$  – количество теплоты, передаваемое от системы СПОТ в окружающую среду;

$Q_0$  – количество теплоты, передаваемое от системы СПОТ в нулевой момент времени.

Для решения уравнения (2) возникает необходимость в определении:

– коэффициента теплоотдачи, используя гидродинамические законы;

– температурных режимов СПОТ с использованием ПК ЛОГОС.

Площадь поверхности теплообмена напрямую зависит от размеров БАОТ, которые подбирались исходя из анализа источников литературы. Поскольку запас воды в БАОТ около  $600 \text{ м}^3$ , приняты следующие размеры для бака: длина – 21 м, ширина – 4 м, высота – 7 м. В нашей модели теплообмен с воздухом осуществляется всеми гранями БАОТ. В связи с чем, значение для площади поверхности теплообмена составило:

$$S = 21 \cdot 4 \cdot 2 + 21 \cdot 7 \cdot 2 + 4 \cdot 7 \cdot 2 = 518 \text{ м}^2 \quad (3)$$

Моделирование в программном комплексе ЛОГОС проводилось в соответствии со стандартным для данного пакета алгоритмом. На первоначальном этапе задавалась геометрическая модель системы СПОТ, состоящая из бака аварийного отвода тепла и теплообменника СПОТ (далее по тексту – ТО СПОТ). На следующем этапе строилась расчетная сетка, на основании полученной ранее геометрической модели. Далее задавались подобласти, которым присваивался материальный состав. Итоговый вид разработанной модели системы СПОТ представлен на рис. 2.

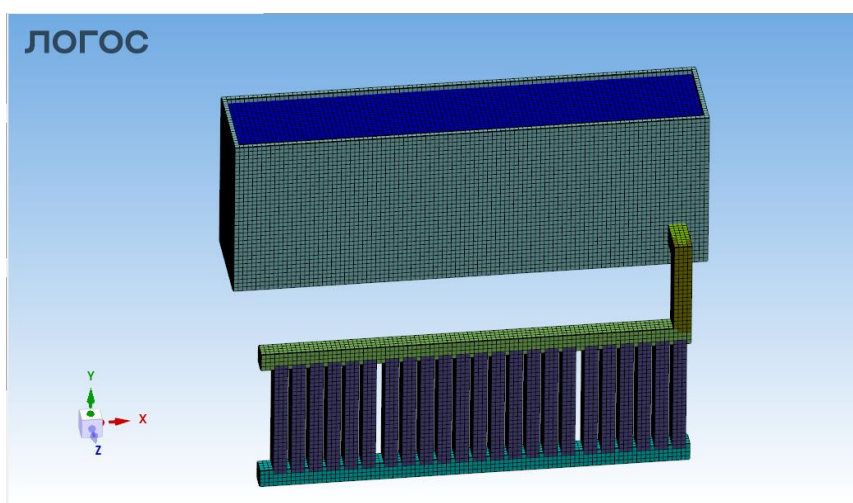


Рис. 2. Итоговая модель системы СПОТ

Подобласти в рамках модели включают в себя: стенки БАОТ и стенки ТО СПОТ, выполненные из нержавеющей стали 12х18н10г, теплоноситель БАОТ в виде воды, а также пар, находящийся внутри теплообменных трубок.

Для имитации теплоты, подводящей к системе СПОТ, в условиях физической модели был добавлен источник энерговыделения. Источник при этом задавался в нижней части самого теплообменника. В данном случае предполагается, что пар после парогенератора попал в теплообменник СПОТ со значением температуры  $285 \text{ }^\circ\text{C}$  (теоретическое значение пара на входе в теплообменник), поэтому начальная температура на нижней грани теплообменника устанавливается аналогичной.

Начальная температура в баке СПОТ принимается  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  или  $333 \text{ K}$ . Согласно источникам литературы, такое значение теплоносителя необходимо для обеспечения мгновенной готовности системы.



Это позволяет сократить время нагрева воды по сравнению с более низкими температурами. За счет этого система начинает отдавать тепло раньше, находясь таким образом в режиме ожидания.

На следующих рисунках показано распределение температуры по системе на различных шагах по времени (шаг 11, 20) при температуре окружающей среды равной 20 °С.

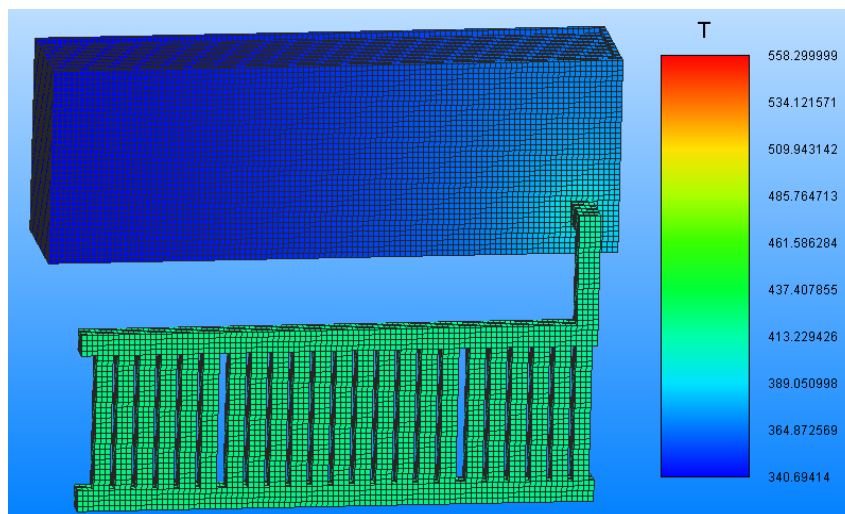


Рис. 3. Распределение температуры шаг 11

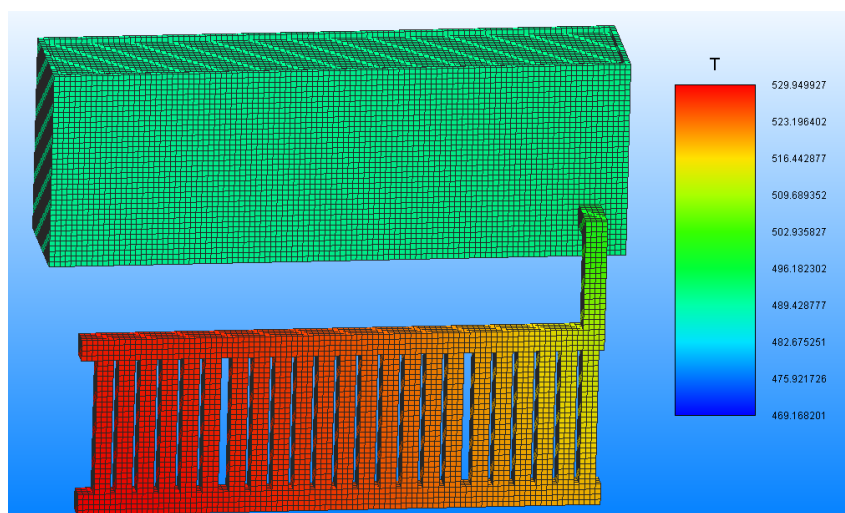


Рис. 4. Распределение температуры на последнем шаге

Из полученных температурных распределений видно, что тепло по стенкам бака аварийного отвода тепла распространяется более интенсивно чем, по теплоносителю БАОТ. Связано это с тем, что у стали более высокое значение коэффициента теплопроводности чем у воды.

В конечном счете, температура в системе переходит в установившийся режим, что видно по рисунку 4, при этом максимальная температура в баке СПОТ составила 502 К при  $T_{окр} = 20$  °С.

Аналогичные температурные распределения, были получены при диапазоне температур окружающей среды от -40 до +40, после чего был построен график зависимости максимальной температуры в БАКЕ СПОТ от температуры окружающей среды.

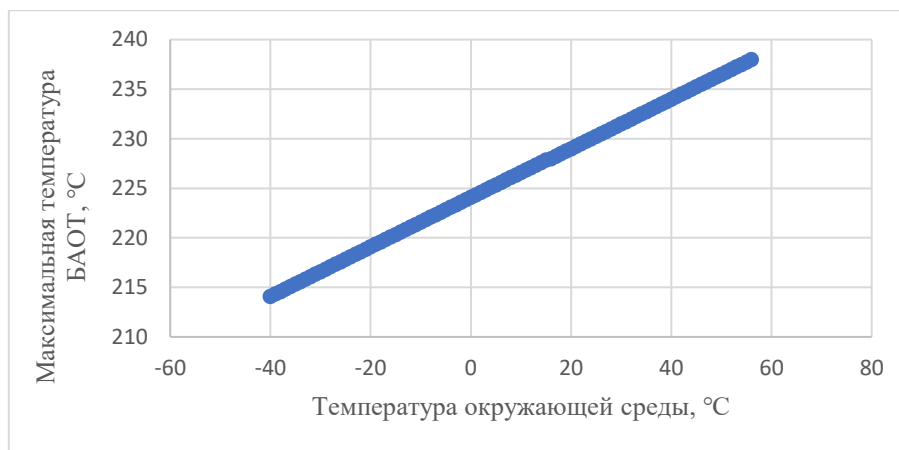


Рис. 5. Зависимость максимальной температуры в БАОТ от температуры окружающей среды

Снижение температуры окружающей среды на 20 °C, снижает температуру в баке СПОТ на 5 °C. Связано это с тем, что у воды большее значение теплоемкости чем у воздуха примерно в 4 раза, проще говоря вода более инерционная среда, поэтому она дольше нагревается/остывает.

После определения температурных режимов был проведен расчет мощности отвода тепла при различных температурах окружающей среды и построена зависимость мощности отвода тепла от температуры окружающей среды.

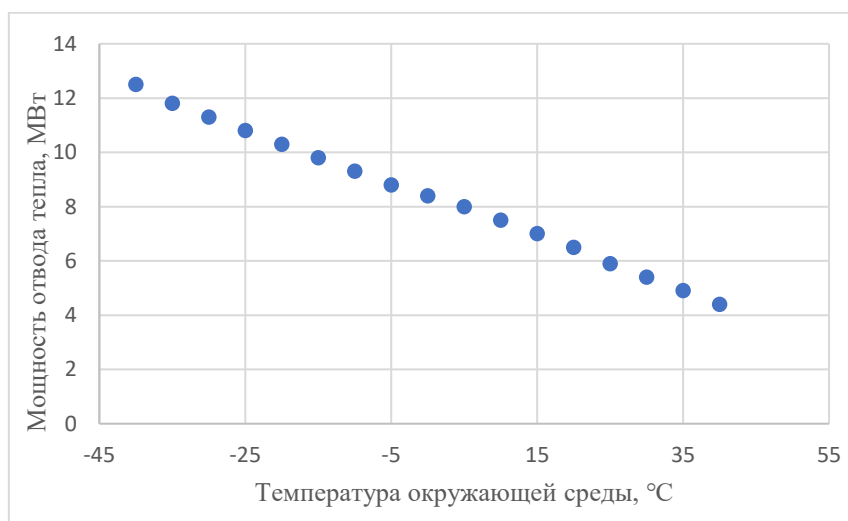


Рис. 6. Зависимость мощности отвода тепла от температуры окружающей среды

Из полученной зависимости можно сделать вывод, что чем ниже температура окружающей среды тем эффективней теплоотвод системой СПОТ. При этом с увеличением температуры воздуха мощность теплоотвода снижается до 65 %.

### Заключение

В ходе выполнения работы была разработана модель системы СПОТ АЭС в программном комплексе ЛОГОС. При помощи модели определены, максимальные температуры теплоносителя в БАОТ, в зависимости от температуры окружающей среды. Снижение температуры окружающей среды на 1 °C, снижает температуру в баке СПОТ на 0,25 °C. Связано это главным образом с различием в значениях теплоемкостей. Вода более инерционная среда т.е. требует больше времени на разогрев/охлаждение.

Также были определены основные показатели мощности отвода тепла с использованием, полученной в ПК ЛОГОС модели. Средняя мощность отвода тепла составила 8,13 МВт, при этом установлено, что сама мощность с ростом температуры окружающей среды снижается на 65 %.

### **Список использованных источников**

1. АО «Концерн Росэнергоатом»: сайт. – URL: <https://www.rosenergoatom.ru/zhurnalistam/news/24418/>.
2. Как устроены СПОТ ПГ и СПОТ ЗО проекта ЛАЭС-2: reaktorbmk — ЖК: сайт. – URL: <https://reaktorbmk.livejournal.com/1271.html>.
3. Морозов А.В. Схемные решения и принципы работы пассивных систем аварийного охлаждения различных типов ЯЭУ - Стр 8: сайт. – URL: <https://studfile.net/preview/16502387/page:8/>.
4. Теплообменник системы пассивного отвода тепла СПОТ - НПП «БАСЭТ» : сайт. – URL: [http://baset.ru/oborudovanie/dlya\\_atomnyih\\_stantsiy/teploobmennik\\_sistemyi\\_passivnogo\\_otvoda\\_teppla\\_spot](http://baset.ru/oborudovanie/dlya_atomnyih_stantsiy/teploobmennik_sistemyi_passivnogo_otvoda_teppla_spot).
5. Аль-Джанаби А.Х. Интенсификация теплообмена энергетического оборудования АЭС с использованием водовоздушного аэрозоля: специальность 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Аль-Джанаби Акрам Хамзах Абед. – Екатеринбург, 2020. – 188 с.
6. Коновалова Л.С., Загромов Ю.А. Теоретические основы теплотехники. Теплопередача: Учебное пособие. – Томск : Изд. ТПУ, 2001. – 118 с.

# ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ ОБУСТРОЙСТВА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Проскуряков М.А., Беляускене Е.А.  
ТПУ ИШЭ, группа 5А26, [map41@tpu.ru](mailto:map41@tpu.ru)  
ТПУ ОММФ, ИЯТШ, старший преподаватель, [eam@tpu.ru](mailto:eam@tpu.ru)*

## Введение

Нефтегазовая промышленность является одной из ключевых отраслей отечественной экономики, обеспечивающей энергетическую безопасность и развитие страны. Разработка нефтегазовых месторождений требует использования новейших технологий и инновационных методов для повышения эффективности и снижения рисков. Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) предоставляет уникальные возможности для проведения мониторинга, инспекции, исследования и создания 3D-моделей местности, что способствует улучшению и ускорению процессов их разработки и эксплуатации.

Любая разработка месторождения начинается с поисково-разведочных работ, включающих в частности исследование местности. В настоящее время существует несколько способов сбора исходной информации:

- Разведка местности. Выполняется с помощью бригад рабочих со специальным оборудованием (например, ГНСС-приёмники), которые лично отправляются на местность для сбора исходной информации.
- Изучение местности по аэрофотоснимкам. Выполняется с самолета/вертолета или БПЛА.
- Спутниковая фотосъемка. Выполняется с искусственных спутников Земли.

В данной работе рассмотрим использование БПЛА для полевых обследований нефтегазовых месторождений в сравнении с традиционными топографогеодезическими способами исследования местности. Сравнение двух методов сбора исходной информации проводится на примере размещения объектов обустройства – кустовых площадок.

## Основная часть

Задача: наиболее рациональным способом разместить в одном из нефтедобывающих регионов РФ объект обустройства (кустовую площадку) с помощью нескольких методов сбора исходной информации. Решение: выполнение топографической съемки и разработка цифровой модели местности для выбора оптимального варианта локального размещения кустовой площадки с учетом особенностей рельефа местности.

Для выполнения топографической съемки рабочей бригаде из трех человек необходимо отправиться на место предполагаемого размещения объекта. При этом основным используемым устройством для определения положения различных объектов на местности являются ГНСС-приёмники в режиме РТК (рис. 1).



Рис. 1. ГНСС- приёмник

Процесс сборки исходной информации для размещения объекта обустройства месторождения состоит из нескольких этапов: подготовительные работы (определение участка съемки, выбор ключевых точек), установка станций ГНСС, выполнение измерений, работа с данными (проверка замеров, передача данных), обработка данных (построение моделей, коррекция измерений), документация и отчетность.

Вывод: выполнение топографической съемки с помощью ГНСС позволяет получить высокоточную информацию о территории, что критически важно для геодезических работ, но требует значительных временных и финансовых затрат.

Использование летательных аппаратов в геодезии помогает ускорить процесс сбора исходной информации заданного участка местности, а также упростить работу изыскателю, помимо этого помочь инженеру-проектировщику.

БПЛА – это летательный аппарат (ЛА), который совершает полет без участия пилота на борту. В наше время БПЛА активно используются в нефтегазовой отрасли, так как позволяют значительно снизить затраты и ускорить процесс сбора данных. На рис. 2 показаны основные виды БПЛА, используемые в геодезии:

Первый вид – крылатые: данная конструкция БПЛА включает фиксированные крылья, обеспечивающие стабильность и возможность длительного полета. Преимущества данного вида заключаются в том, что они обладают высокой энергоэффективностью, покрывают значительные площади за один вылет, а самое главное, обеспечивают детальное и точное создание 3D-моделей местности. Есть и минусы у данного вида: требуется большое место для взлета и посадки, они менее маневренные в ограниченном пространстве, дороже в приобретении и в обслуживании.

Вывод: данный вид БПЛА отлично подходит для крупных геодезических проектов, которые требуют охвата больших территорий с минимальными затратами времени и энергоресурсов.

Второй вид – мультироторные: данная конструкция оснащена несколькими роторами, которые обеспечивают вертикальный взлет и посадку, а также высокую маневренность. Преимущества данного вида заключаются в том, что они не требуют специальных площадок для запуска и посадки, имеют отличную маневренность, которая позволяет работать в ограниченных пространствах, способность зависать в одном месте. Есть и минусы у данного БПЛА: ограниченная продолжительность полета, меньшая площадь покрытия, ограниченность в способности полезной нагрузки.

Вывод: данный вид БПЛА предоставляют собой незаменимый инструмент для геодезической съемки небольших и труднодоступных участков, обеспечивая высокую точность и маневренность.



*Рис. 2. Основные виды БПЛА в геодезии:  
слева – крылатые; Справа – мультироторные*

Процесс сбора исходной информации с помощью БПЛА для размещения объекта обустройства месторождения состоит из нескольких этапов: Планирование полета, проверка погодных условий, создание плана полета, выполнение полета по запланированному маршруту (сканирование поверхности в процессе полета), обработка собранных данных (создание 3D-моделей, ортофотопланов и т.д.), передача готовой работы заказчику. Таким образом, БПЛА ускоряют получение и создание цифровой модели местности для рационального расположения проектируемого объекта.

На рис. 3 показаны три примера различных цифровых 2D-моделей оптимального размещения кустовых площадок на местности.



*Рис. 3. Пример размещения кустовой площадки на заданном участке местности*

В таблице 1 представлен сравнительный анализ двух способов сбора исходной информации для создания цифровой модели местности и размещения объекта обустройства месторождения. По данным таблицы можно сделать вывод, что БПЛА выигрывает практически по всем показателям, использование БПЛА позволяет сократить время и затраты на проведение работ, что играет большую роль при выполнении предпроектной работы при размещении объекта обустройства нефтегазового месторождения.

Таблица 1

*Сравнительный анализ*

Масштаб 1:5000	Тахеометрический	БПЛА
Объем труд. (час)	8	4
Объем работ, (гектар)	25	2250
Стоимость, руб./га	800	50
Точность выполнения работ, мм	$\pm (1,5+2 \cdot 10^{-6})$	$\pm 20-50$

**Заключение**

На основании вышеизложенного можно выделить основные достоинства использования БПЛА для выполнения топографической съемки и разработки цифровой модели местности:

1. Высокая точность и детализация изображений и карты местности.
2. Снижение затрат (эксплуатационные расходы, сокращение времени на выполнение задач).
3. Быстрота сбора данных.
4. Гибкость и многофункциональность.
5. Легкость в управлении и планировании полетов.
6. Скорость обработки данных (многие системы интегрированы с программным обеспечением для обработки и анализа данных, что позволяет быстро превращать сырые изображения в готовые карты и модели).
7. Минимальное воздействие на окружающую среду.

Таким образом, данный метод предлагает значительные преимущества по сравнению с традиционными методами размещения объектов на месторождениях. Применение БПЛА позволяет значительно ускорить процесс съемки и последующей обработки данных, снизить расходы на выполнение работ, а также является эффективным инструментом для подготовки топографических данных и для создания цифровых моделей местности для оптимизации процесса размещения объектов обустройства нефтегазовых месторождений.

**Список использованных источников**

1. Шихмагомедова С.М. Использование беспилотных летательных аппаратов в нефтегазовой отрасли // МНИЖ. – 2017. – № 6-2 (60). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-v-neftegazovoy-otrasli-1> (дата обращения: 05.10.2024).
2. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений: учебное пособие / А.Т. Росляк, С.Ф. Санду; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 152 с.
3. Турк Г.Г., Карачёв Н.К. Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в геодезии // Вектор ГеоНаук. – 2023. – Т. 6, № 2. – С. 56–60. – DOI: 10.24412/2619-0761-2023-2-56-60.
4. Обустройство месторождения нефти. 13 с. – URL: [https://neftvnb.ru/text/dobicha/obustr\\_01.pdf](https://neftvnb.ru/text/dobicha/obustr_01.pdf).
5. Захарова А.С. Обустройство месторождений нефтегазовой промышленности и их инфраструктура // Инженерный вестник Дона – 2020, №11. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obustroystvo-mestorozhdeniy-neftegazovoy-promyshlennosti-i-ih-infrastruktura/viewer> (дата обращения 30.09.2024).
6. Юхтенко Л.В. Оценка эффективности технологии съемки БПЛА при проведении топографической съемки местности / Л.В. Юхтенко // Материалы I Белорусского географического конгресса : Материалы конгресса к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества. В 7-ми частях, Минск, 08–13 апреля 2024 года. – Минск : Белорусский государственный университет, 2024. – С. 217–222. – EDN JWXUAU.

# РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ УЧЁТА, МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА ОБЪЕКТАХ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

*Раменский К.Р.<sup>1</sup>, Манякина О.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, ИШИнЭС, 6ВМЗ1ПИШ, e-mail: ramenskii-kr@mail.ru*

<sup>2</sup> *Саяно-Шушенский филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Электроэнергетика и электротехника, Гидроэлектростанции, ГЭ24-01М, e-mail: olesya.manyakina.01@mail.ru*

## **Введение**

Современные системы управления техническими объектами требуют высокой точности и предсказуемости для обеспечения надежной эксплуатации оборудования и сокращения рисков непредвиденных поломок. Одним из эффективных методов, который используется для управления сложными объектами, является технология цифровых двойников. Цифровой двойник – это виртуальная модель физического объекта, которая отражает его текущее состояние, поведение и возможное развитие в будущем на основе данных о работе и эксплуатации объекта. Первоначально концепция цифрового двойника была предложена NASA для управления сложными космическими системами [1].

Цифровые двойники могут применяться для моделирования различных процессов, включая предсказание состояния и срока службы аккумуляторных батарей (АКБ), которые широко используются в энергетических системах, таких как гидроэлектростанции (ГЭС). В данной статье рассматривается возможность применения цифровых двойников для мониторинга, прогнозирования и оптимизации работы аккумуляторов в составе систем энергоснабжения ГЭС.

## **Постановка задачи**

На крупных объектах, таких как ГЭС, использование свинцово-кислотных аккумуляторов критически важно для бесперебойной работы аварийных систем и обеспечения их автономности в случае отключения электроснабжения. Однако срок службы аккумуляторов ограничен, и их износ со временем снижает эффективность работы системы.

Задача заключается в создании системы цифрового двойника, которая позволила бы:

- учитывать и отслеживать установленные аккумуляторы на объекте;
- предсказывать срок службы каждого аккумулятора на основании текущих данных и условий эксплуатации;
- оповещать о необходимости замены или пополнения запасов на складе;
- моделировать саморазряд аккумуляторов и корректировать планы по их замене.

## **Система учета и мониторинга АКБ на ГЭС**

Цифровой двойник аккумуляторов может представлять собой систему учета и мониторинга, где каждый аккумулятор описан набором характеристик, включая тип, серийный номер, дату производства, текущее состояние и параметры эксплуатации. Все данные об аккумуляторах собираются и сохраняются в базе данных, доступной через веб-интерфейс. Подобная система может включать такие модули, как:

– Мониторинг состояния АКБ. Оценка текущего состояния аккумулятора может производиться на основе параметров, таких как напряжение, сопротивление, емкость и другие показатели состояния аккумулятора (State of Health, SoH). Прогнозирование поведения аккумуляторов позволяет заранее определить момент, когда аккумулятор выйдет из строя или его производительность снизится до критических значений [2].

– Предсказание срока службы и саморазряда. Один из ключевых аспектов работы с аккумуляторами – это учет саморазряда, который напрямую влияет на состояние АКБ при длительном хранении. Различные математические модели, в том числе методы машинного обучения, могут использоваться для прогноза саморазряда [3].

Система учета и мониторинга аккумуляторных батарей разработана с использованием объектно-ориентированного подхода, где каждое устройство описывается с помощью соответствующих классов. Основные компоненты системы включают:



1. Классы типов аккумуляторов. Эти классы содержат информацию о номинальных характеристиках батареи, таких как напряжение, емкость, внутреннее сопротивление и другие технические параметры.

2. Классы тестовых индикаторов. Отдельные классы хранят результаты тестов АКБ, таких как коэффициент здоровья батареи (SoH), коэффициент заряда (SoC), напряжение, внутреннее сопротивление и другие параметры, полученные в ходе диагностики.

3. Классы аккумуляторов. Каждый объект класса «аккумулятор» содержит информацию о типе батареи, месте установки, серийном номере и истории тестирования. Это позволяет точно отслеживать состояние каждого устройства в системе и своевременно реагировать на изменения.

Основная часть системы – алгоритмы предсказания состояния аккумуляторов. Например, расчет саморазряда осуществляется с учетом процентной потери емкости в зависимости от времени хранения на складе. Алгоритмы анализа данных включают:

– Моделирование саморазряда. Рассчитывается снижение емкости аккумулятора в зависимости от времени с использованием показателя саморазряда.

– Предсказание оставшегося срока службы. На основе данных о текущей емкости и характеристиках аккумулятора можно предсказать, когда его рабочие параметры снизятся до критического уровня.

– Графики изменения состояния. Система позволяет построить графики зависимости емкости от времени, что наглядно демонстрирует поведение аккумулятора в различных условиях эксплуатации.

В процессе разработки были реализованы несколько полезных графиков для анализа состояния аккумуляторов:

– График саморазряда. Показывает, как изменяется емкость аккумулятора в зависимости от времени хранения. Это помогает оценить, насколько долго аккумулятор может храниться без потери рабочих характеристик.

– Зависимость емкости от срока службы. Построение графиков зависимости емкости аккумулятора от срока службы в буферном режиме позволяет предсказать его поведение при эксплуатации.

Для иллюстрации работы системы учета аккумуляторных батарей, приведены два графика, которые наглядно демонстрируют поведение аккумуляторов в зависимости от их состояния.

Рисунок 1. На первом графике показана зависимость емкости от срока службы для аккумулятора Delta DT 1207. Синяя линия представляет прогноз емкости по мере старения аккумулятора. Важным моментом является то, что в точке 5.74 Ah (около 3 лет службы) система отображает текущую емкость батареи (выделена красной точкой). Анализ этого графика помогает оценить, когда аккумулятор достигнет критической точки, и предсказать время его замены.

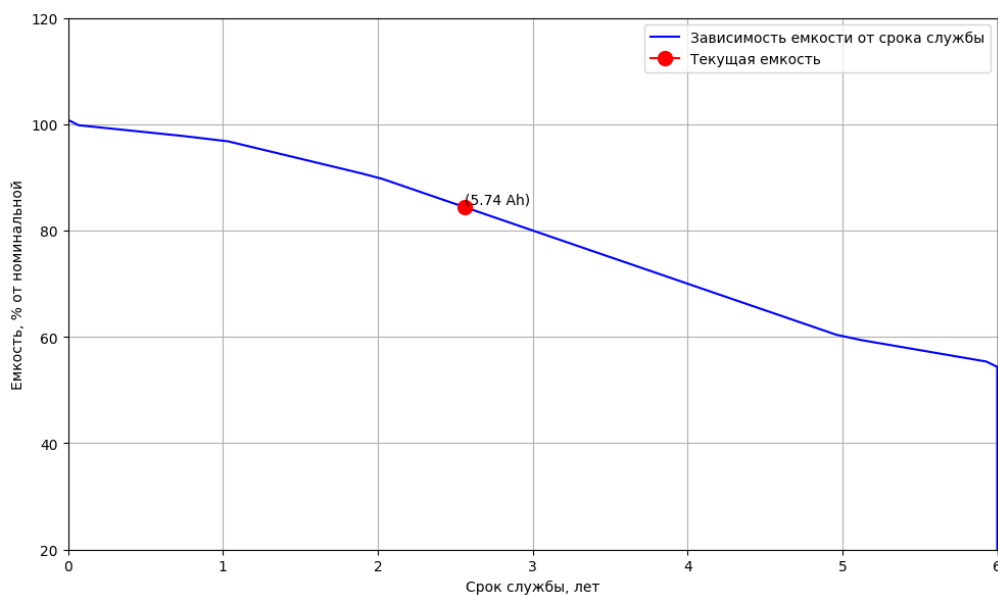


Рис. 1. График зависимости емкости от срока службы аккумуляторной батареи в буферном режиме



Рис. 2. (второй график) отображает процесс саморазряда аккумулятора Delta DT 1207 в течение времени. Синяя пунктирная линия показывает медленное снижение емкости в результате саморазряда. Данный график можно использовать для оценки состояния аккумуляторов, находящихся на складе. Он позволяет предсказать, когда емкость может снизиться до критического уровня и будет необходимо провести техническое обслуживание или заменить батареи.

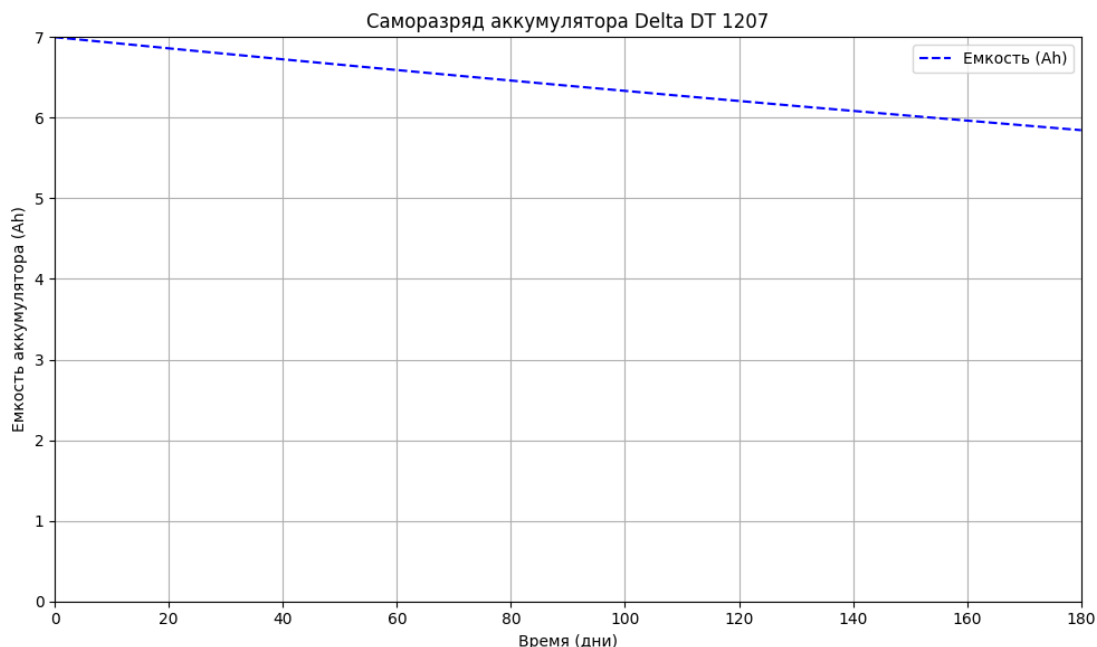


Рис. 2. График саморазряда аккумуляторной батареи Delta DT 1207, которая находилась на складе в течение 180 дней (полгода)

Анализ данных графиков позволяет делать точные прогнозы по времени замены аккумуляторов и времени проведения планового обслуживания, что оптимизирует работу персонала и снижает затраты на поддержание работоспособности оборудования. Таким образом, взглянув на оба графика видно, что данный аккумулятор можно использовать в буферном режиме более трёх лет.

### Моделирование саморазряда АКБ

Для точного прогноза саморазряда и общего срока службы аккумулятора в системе цифрового двойника могут использоваться алгоритмы, основанные на эмпирических данных и физических моделях. В работе применялась модель, в которой учитывается процент саморазряда аккумуляторов в зависимости от времени и температуры хранения. Например, для свинцово-кислотных аккумуляторов можно использовать данные о снижении емкости в буферном режиме эксплуатации [4].

На основе полученных данных система может уведомлять пользователей о необходимости замены аккумуляторов или корректировке условий их хранения. Это позволит более эффективно управлять запасами АКБ на складах и предотвратить непредвиденные поломки оборудования из-за выхода батарей из строя.

### Прогнозирование состояния АКБ

Прогнозирование состояния аккумуляторов в рамках системы цифрового двойника основано на моделировании зависимости емкости от времени и учета других ключевых факторов, таких как температура и саморазряд. В данной работе использовались математические модели, учитывающие изменения емкости АКБ в зависимости от времени эксплуатации и условий окружающей среды. Подобный подход описан в ряде работ, посвященных анализу состояния аккумуляторов с использованием регрессионных моделей и эмпирических данных [5].

Кроме того, важную роль в прогнозировании играет температура эксплуатации аккумуляторов, так как емкость батарей значительно снижается при низких температурах. Это особенно актуально для ГЭС, где температурные условия могут варьироваться в широком диапазоне [6].

### **Применение системы на ГЭС**

Применение системы цифрового двойника на ГЭС позволяет решить ряд важных задач:

- Автоматизация учета АКБ. Система позволяет вести учет всех аккумуляторов, установленных на объекте, и анализировать их состояние в реальном времени.
- Предсказание замены АКБ. Благодаря предсказательным алгоритмам система может своевременно уведомить персонал о необходимости замены АКБ на складе или на объекте, что позволяет избежать аварийных ситуаций и продлить срок службы оборудования.
- Оптимизация работы персонала. Уведомления о необходимости замены АКБ или пополнении запасов позволяют оптимизировать работу сотрудников и минимизировать время на планирование обслуживания.

### **Оптимизация работы персонала**

Хотя основной акцент данной работы сделан на аккумуляторах, система цифрового двойника может быть использована для оптимизации работы не только самого оборудования, но и персонала. Система учета и мониторинга АКБ позволит операторам на ГЭС своевременно получать информацию о состоянии всех аккумуляторов и принимать решения о необходимости их замены или ремонта, что сократит затраты на обслуживание и повысит надежность системы энергоснабжения [7].

### **Заключение**

Разработка цифровых двойников для аккумуляторных батарей позволяет существенно улучшить управление их состоянием и предсказать срок службы, что, в свою очередь, способствует более эффективному использованию ресурсов и снижению затрат. Система учета АКБ на ГЭС, основанная на цифровом двойнике, позволяет не только отслеживать состояние батарей, но и уведомлять персонал о необходимости их замены, тем самым оптимизируя рабочие процессы.

### **Список использованных источников**

1. Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. NASA, 2014.
2. Zhang Y., Lee J. A review on prognostics and health monitoring of Li-ion battery // *Journal of Power Sources*. – 2011. – Vol. 196, № 15. – P. 6007–6014.
3. Eddahech A., Briat O., Vinassa J.M. Determination of lithium-ion battery state-of-health based on constant-voltage charge phase // *Journal of Power Sources*. – 2012. – Vol. 258. – P. 218–227.
4. Ganesan S., Haran B., Popov B.N., White R.E. Self-discharge of lithium-ion batteries: A theoretical study // *Journal of Power Sources*. – 2003. – Vol. 123, № 1. – P. 153–158.
5. Bishop C.M. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer, 2006.
6. Ge S., Wang C.Y., Yang X.G. A physics-based lithium-ion battery model with chemical/mechanical degradation physics for long-term capacity fade prediction // *Journal of Power Sources*. – 2015. – Vol. 282. – P. 382–391.
7. Phan L., Rohrer S., Otte P. Optimizing maintenance schedules using a digital twin of a gas turbine // *Procedia CIRP*. – 2018. – Vol. 72. – P. 590–595.

# ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ УГЛЕМЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ДЛИННОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КАНАЛЕ

Глеуленов Р.Р.<sup>1</sup>, Чура Е.С.<sup>2</sup>, Моисеева К.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Томский государственный университет, аспирант, e-mail: tlensavage@gmail.com

<sup>2</sup> Томский государственный университет, студент, e-mail: yulia.chura@mail.ru

<sup>3</sup> Томский государственный университет, профессор, e-mail: Moiseeva\_KM@t-sk.ru

## Введение

Исследование процессов горения смесей газов, способных к химическим реакциям, является задачей первостепенной важности. В процессе добычи, транспортировки и переработки угля образуются частицы угольной пыли, которые могут стать источником воспламенения и горения газовой смеси, содержащей угольную пыль.

Понимание процессов воспламенения и горения газовой смеси с угольной пылью имеет практическое значение для обеспечения пожарной и взрывобезопасности в промышленности. Это позволяет разработать меры предосторожности и эффективные методы контроля.

Изучение динамики таких процессов может способствовать созданию более безопасных технологий и методов работы с углём, снижая риски возникновения аварийных ситуаций.

Для решения задачи применяются как экспериментальные, так и численные методы. Экспериментальные исследования позволяют получить данные о поведении угольной пыли в реальных условиях, а численные методы помогают формализовать и обобщить полученные результаты.

В данной работе представлены результаты численного исследования закономерностей распространения пламени углеметановоздушной смеси в длинном цилиндрическом канале.

Результаты работы могут служить основой для дальнейших исследований в области безопасной эксплуатации угольной промышленности, а также для разработки эффективных мер по предотвращению возгораний.

## Описание алгоритма и допущения

Исследование основано на подходах механики двухфазных реагирующих сред для учета взаимодействия между угольной пылью и газовой фазой. Основные допущения модели соответствовали работе [1]. Считалось, что в метано-воздушной смеси равномерно распределена угольная пыль с заданной массовой концентрацией и размером частиц. Объемная доля частиц мала. Коэффициенты диффузии и теплопроводности газа зависят от температуры. Учитывается тепловое и динамическое взаимодействие между частицами и газом. На поверхности частиц протекает гетерогенная реакция первого порядка по кислороду, скорость которой определяется с учетом массообмена. В газовой фазе происходят химические реакции между метаном и окислителем.

Для решения задачи использованы алгоритмы, описанные в работах [2, 3], метод С.К. Годунова и метод распада произвольного разрыва в среде, лишённого собственного давления для частиц.

## Результаты

На рис. 1 представлены распределения температуры газа по каналу для разных радиусов частиц при фиксированных значениях массовой концентрации и содержания метана в смеси для момента времени  $t = 0,02$  с.

Получено, что фронт пламени газозвеси с радиусом частиц  $r_p = 1$  мкм, массовой концентрацией частиц  $m_p = 0.3$  кг/м<sup>3</sup>, распространяется быстрее.

Мелкие частицы имеют значительно большую удельную поверхность (отношение площади поверхности к объёму) по сравнению с более крупными частицами. Это увеличивает контакт между частицами и окружающим газом, что ускоряет процессы теплообмена и массопереноса. Быстрое нагревание мелких частиц приводит к ускоренному воспламенению и горению.

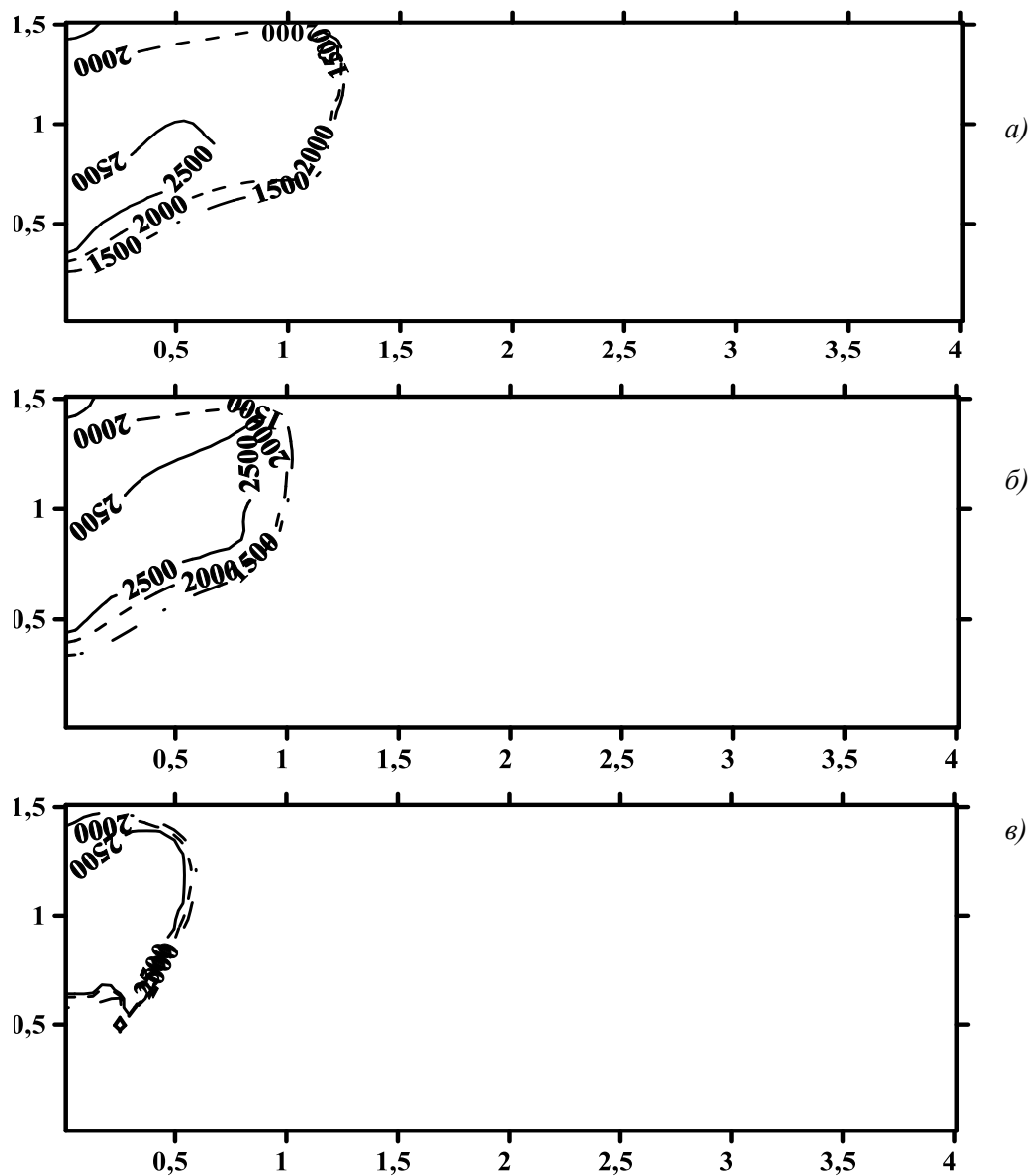


Рис. 1. Распределение температуры газа по каналу:

а)  $a = 9\%$ ,  $r_p = 1$  мкм,  $t_p = 0.3$  кг/м<sup>3</sup>, б)  $a = 9\%$ ,  $r_p = 2$  мкм,  $t_p = 0.3$  кг/м<sup>3</sup>, в)  $a = 9\%$ ,  $r_p = 10$  мкм,  $t_p = 0.3$  кг/м<sup>3</sup>

На рис. 2 представлены распределения температуры и вектора скорости движения частиц в различные промежутки времени для газозвеси с объемным содержанием метана  $a = 15\%$ , радиусом частиц  $r_p = 10$  мкм, массовой концентрацией частиц  $t_p = 0.4$  кг/м<sup>3</sup>. В процессе горения метана с процентным содержанием  $a = 15\%$  происходит интенсивное тепловыделение, что вызывает значительное расширение продуктов сгорания. Это может привести к локальному увеличению давления в области горения. При этом в некоторых участках потока могут возникать зоны с более низким давлением, что вызывает обратное движение частиц в направлении этих зон.

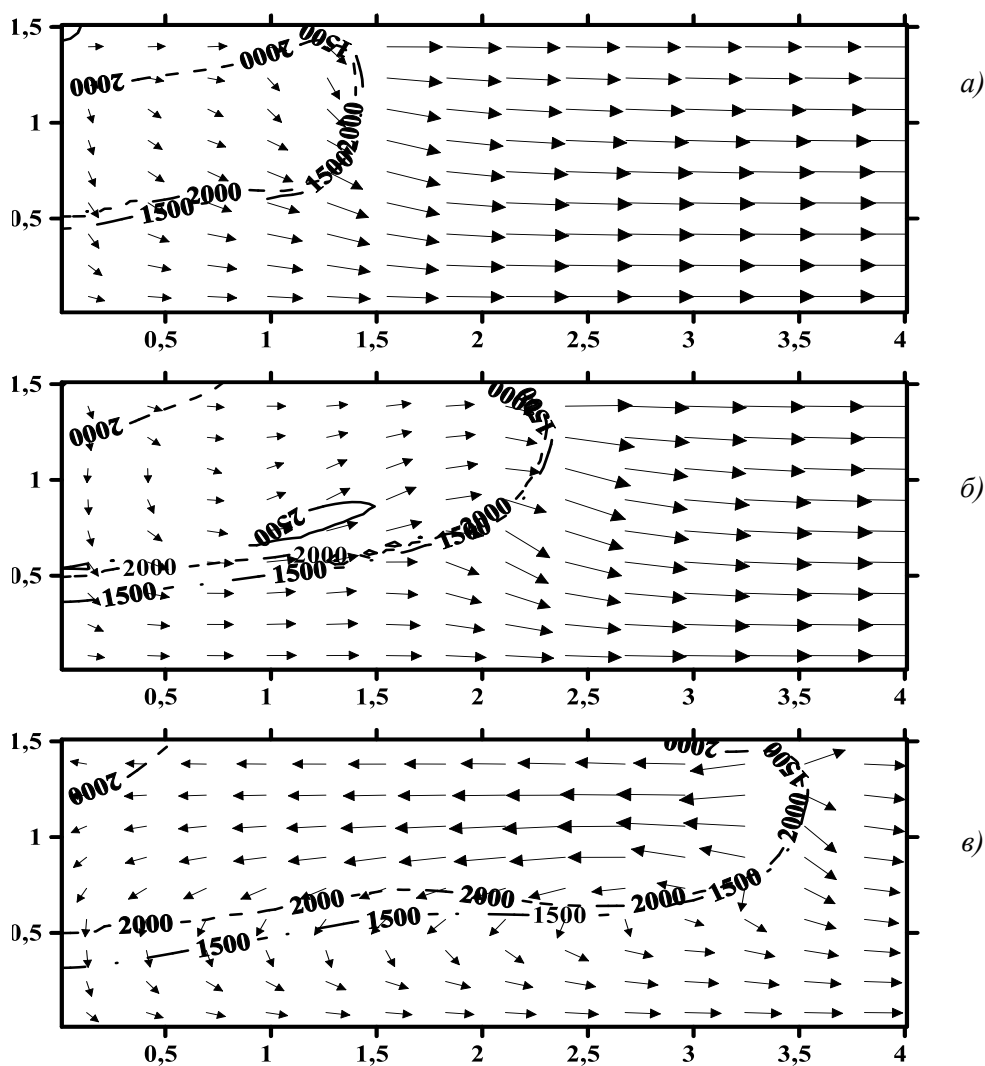


Рис. 2. Распределение температуры газа и вектора скорости частиц по каналу:  
 $a = 15 \%$ ,  $r_p = 10 \text{ мкм}$ ,  $m_p = 0,4 \text{ кг/м}^3$ , а)  $t = 0,036 \text{ с}$ , б)  $t = 0,063 \text{ с}$ , в)  $t = 0,09 \text{ с}$

### Заключение

Ускоренное распространение фронта пламени в газозвеси с частицами радиусом  $r_p = 1 \text{ мкм}$ , и массовой концентрацией  $m_p = 0,3 \text{ кг/м}^3$  было связано с оптимальными размерами частиц, которые способствовали усиленному теплообмену и массопереносу. Мелкие частицы обладали значительной удельной поверхностью, что увеличивало контакт с окружающим газом и ускоряло реакции в газовой фазе, поддерживая высокую скорость фронта пламени.

Результаты моделирования (рис. 2) для газозвеси с параметрами  $a = 15 \%$  метана и частицами радиусом  $r_p = 10 \text{ мкм}$  показали, что на момент времени  $t = 0,09 \text{ с}$  в канале образуются обратные течения, причинами которых являются тепловое расширение продуктов сгорания.

Работа выполнена при финансовой поддержке госзадания Минобрнауки России FSWM-2020-0036.

### Список литературы

1. Moiseeva K.M., Krainov A.Yu. Effect of radiation transport on minimal sparkplug ignition energy of nanosized coal-dust suspension // КЕМ. – 2018. – Vol. 769. – P. 311–316.
2. Годунов С.К. Численное решение многомерных задач газовой динамики / С.К. Годунов, А.В. Забродин, М.Я. Иванов и др. – М. : Наука, 1976. – 400 с.
3. Крайко А.Н. О поверхностях разрыва в среде, лишенной 'собственного' давления // ПММ – 1979. – Т. 43, № 3. – С. 500–510

## РЕЖИМЫ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ ГЕНЕРАТОРОВ

*Доржиева Б.С.<sup>1</sup>, Гришин Н.В.<sup>2</sup>, Железняк В.Н.<sup>3</sup>, Гарганеев А.Г.<sup>4</sup>, Раднаев А.Б.<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> *Томский политехнический университет, ИШЭ, e-mail: bsd2@tpu.ru*

<sup>2</sup> *АО «Силовые машины», завод Электросила, e-mail: Grishin\_NV@power-m.ru*

<sup>3</sup> *АО «Силовые машины», завод Электросила, e-mail: Zheleznyak\_VN@power-m.ru*

<sup>4</sup> *Томский политехнический университет, ИШЭ, e-mail: tpbalex13@tpu.ru*

<sup>5</sup> *Томский политехнический университет, ИШЭ, e-mail: abr3@tpu.ru*

### Введение

Важным вопросом безопасной эксплуатации энергетического оборудования электрических станций и систем является организация релейных и технологических защит. Одним из наиболее распространенных типов замыканий является однофазное замыкание обмотки статора на землю.

В данной работе рассмотрены режимы заземления нейтрали синхронных генераторов электрических станций, факторы, определяющие выбор и настройку режимов заземления нейтрали.

### Основная часть

Однофазное замыкание на землю является одним из наиболее распространенных видов замыканий при работе генераторов. При однофазном замыкании на землю на неповрежденных фазах возникают перенапряжения, значительно превышающие номинальные значения. Ток, возникающий при замыкании на землю, протекает через место замыкания и через емкость изоляции поврежденной фазы и заземляющее устройство при его наличии. Таким образом, ток замыкания на землю зависит от емкостей обмотки статора генератора и подключенных к нему токопроводов, трансформаторов и другого оборудования до места замыкания, а также от заземляющего устройства.

При замыканиях внутри генератора в зависимости от величины тока замыкания и длительности его протекания зависит и степень повреждения сердечника генератора. При больших токах замыкания на землю или продолжительного его протекания сердечник может быть значительно поврежден – рассеиваемая мощность пропорциональна квадрату тока. Значительное повреждение может привести к замене статора целиком.

Вопросы организации защит от замыканий на землю, выбор режима заземления нейтрали и защитных заземляющих устройств напрямую влияют на сохранность генератора и другого оборудования электростанции. Однофазное замыкание на землю должно отключаться за минимальное время, должна исключаться возможность повторного замыкания, ток замыкания на землю должен быть минимальным.

Далее рассмотрены режимы заземления нейтрали генераторов. Самыми распространенными режимами заземления нейтрали генераторов являются:

- 1) изолированная нейтраль;
- 2) нейтраль, заземленная через дугогасящий реактор
- 3) нейтраль, заземленная через высокоомный резистор;
- 4) нейтраль, заземленная через низковольтный резистор, подключенный во вторичную обмотку трансформатора.

В России на изолированную нейтраль приходится 79 %; нейтраль, заземленную через дугогасящий реактор – 19 %; нейтраль, заземленную через резистор – 2 % [1]. Кроме перечисленных есть и другие технические решения для заземления нейтрали, однако они не являются широко распространенными и в данной работе не рассмотрены.

Режимы заземления выбираются на основе требований действующей нормативной документации государственного или международного уровня. С этим связаны отличия в самом подходе к организации защит от однофазных замыканий на землю и защитному заземлению в разных странах.

В России основными нормативными документами являются ПУЭ и руководящие указания по релейной защите. В отечественной практике определено, что неприемлемые повреждения в месте замыкания возникают при токе замыкания на землю более 5 А. С этим же и связано широкое применение изолированной нейтрали турбогенераторов в отечественных сетях. Такой режим хорошо себя зарекомендовал в многолетней эксплуатации на тепловых и атомных электростанциях. При однофазных замыканиях на землю релейные защиты работают успешно, случаи замыканий в генераторах по тем или иным причинам характеризуются относительно низким уровнем повреждений и простотой ремонта.

В настоящий момент на некоторых современных блоках отмечаются феррорезонансные явления, связанные с увеличивающимся разбросом параметров измерительных трансформаторов. В то же время, предпринимающиеся попытки избежать этих явлений за счет перехода на резистивное заземление нейтрали генератора выглядят необоснованными по причинам, отмеченным далее.

Вторым по распространенности является режим заземлений нейтрали через дугогасящий реактор, применяемый, как правило, для компенсации емкости и ограничения токов замыкания на землю. Заземление нейтрали через дугогасящий реактор широко применяется на российских ГЭС и в сетях с большими емкостными токами. Данный режим заземления нейтрали также хорошо себя зарекомендовал в эксплуатации и позволяет обеспечить безопасную для оборудования величину токов короткого замыкания 5 А. В этой связи выглядит целесообразным распространить опыт отечественных проектировщиков ГЭС на объекты тепловой и атомной генерации в случае, если естественный емкостной ток замыкания на землю превосходит требуемые значения.

Заземление нейтрали через резистор может быть реализовано двумя способами – через высокоомный резистор или низкоомный резистор во вторичной обмотке трансформатора. Использование трансформатора позволяет снизить параметры и стоимость заземляющего резистора. При резистивном заземлении нейтрали суммарный ток замыкания на землю существенно увеличивается, что может приводить к существенным повреждениям при внутренних замыканиях в генераторе. В этой связи, в случае применения данного режима, предпочтительным оказывается организация нейтральной точки через трансформатор в токопроводе и её заземление.

В зарубежных стандартах вопросы заземления нейтрали рассматриваются в нескольких несвязанных между собой документах, которые дают общие рекомендации. Например, в американском стандарте [3] приведена следующая классификация режимов заземления нейтрали с основными характеристиками (табл. 1):

Таблица 1

*Режимы заземления нейтрали и их основные характеристики по [3]*

Тип заземления нейтрали	Ток замыкания на землю для режима заземления, А	Величина третьей гармоники тока	Комментарии
Незаземленный генератор	0	Нет	Величина для первичного замыкания на землю, повторное по величине соответствует заземленному генератору.
Надежно заземленный генератор	$I_{033} > I_{3фкз}$	Существенная	Ток замыкания на землю может быть значительно больше тока трехфазного короткого замыкания.
Заземление низкоомным сопротивлением	400 – 1200	Существенная	Ток замыкания на землю значительно снижен.
Заземление среднеомным сопротивлением	200 – 400	Существенная	Ток замыкания на землю на землю снижен еще значительно.
Заземление высокоомным сопротивлением	10 – 25	Незначительная, малая	Ток замыкания на землю протекает по всем емкостям генератора.
Заземление с низким реактивным сопротивлением	$I_{3фкз} > I_{033}$	Существенная	Ток замыкания на землю почти равен или меньше тока трехфазного короткого замыкания.
Гибридная схема заземления	10 – 25 (высокоомное) 200 – 400 (низкоомное)	Существенная	Первое замыкание на землю будет 200 - 400 А с низкоомным резистором, 10 – 25 А после переключения на высокоомный резистор.

В связи со значительным увеличением токов короткого замыкания при резистивном заземлении требуется выбор резистора заземления с большим сопротивлением. Например, международной рабочей группой CIGRE в [4] заземляющие резисторы рекомендуется проектировать таким образом, чтобы ток однофазного короткого замыкания на землю оставался в диапазоне от 5 до 10 А.

### **Заключение**

В данной работе приведен анализ существующих режимов заземления нейтрали, подходы к выбору режимов заземления нейтрали. Выбор режимов заземления нейтрали генераторов должен производиться с учетом накопленного отечественной энергетикой опыта эксплуатации и экспериментальных данных, так как в зависимости от режима заземления нейтрали последствия внутренних коротких замыканий в генераторе могут быть критичными.

При переходе к новым для российских объектов техническим решениям по заземлению нейтрали генераторов необходимо выполнение комплекса исследовательских работ и испытаний во всех режимах эксплуатации для подтверждения принятых решений.

### **Список использованных источников**

1. Информационно-справочное издание «Новости электротехники», 2003. – № 5 (23). – URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2003/23/05.php>.
2. Правила устройства электроустановок, седьмое издание. Раздел 1 Общие правила. Глава 1.7 Заземление и защитные меры безопасности.
3. IEEE Std C37.101-2006, IEEE Guide for Generator Ground Protection.
4. WG A1.09 Guide for minimizing the damage from stator winding grounds on turbogenerators CIGRE.



# ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОРИЙ-ПЛУТОНИЕВОГО КОМПОЗИТА В РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКЕ ВВЭР-1000

Баталов А.А.<sup>1</sup>, Кнышев В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Томский политехнический университет, ИЯТШ, 0А21, aab210@tpu.ru

<sup>2</sup> Томский политехнический университет, ИЯТШ, ассистент, vvk28@tpu.ru

## Введение

Атомная энергетика представляет собой многообещающую отрасль, обладающую огромным потенциалом для производства электроэнергии, ведь один грамм урана способен генерировать столько же энергии, сколько 3 тонны угля, и практически полной независимостью от внешних факторов, таких как погода или сезонные изменения. Благодаря этому ее развитие рассматривается как потенциальная замена углеводородной энергетике. Однако, насколько реальна эта перспектива? Действительно, запасы урана огромны. По оценкам Международного агентства по атомной энергии, их хватит на несколько столетий, если использовать современные технологии. Но вот в чем загвоздка: эти ресурсы конечны, а значит, проблема нехватки энергии рано или поздно вернется, что мотивирует ученых разных стран на расширение ресурсной базы данной отрасли, за счет совершенствования существующих ядерных циклов и поиска альтернатив урановому топливу. Существующие ядерные установки имеют сложное устройство, рассчитанное на определенные условия их эксплуатации, откуда возникает другой вопрос: возможно ли безопасное применение новых топливных композитов в существующих реакторах?

Поэтому цель данной работы заключается в оценке последствий и изменений эксплуатационных характеристик, вызванных применением одной из потенциальных топливных смесей, а именно торий-плутониевого диоксида, в самом распространённом на данный момент ядерном реакторе – ВВЭР-1000.

## Описание алгоритма

Оценка проводилась с использованием программных комплексов MCU и WIMS, рассчитанных для статистической оценки процессов, происходящих в элементарной ячейке ядерного реактора, а также посредством математических расчетов. В ходе исследования активная зона установки принимается за совокупность ТВС, представленных эквивалентными цилиндрическими объектами, разбитыми на подзоны, как это показано на рис. 1.

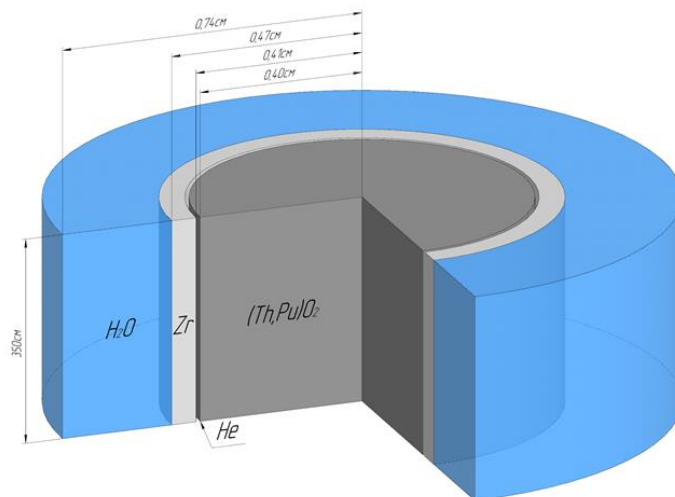


Рис. 1. Устройство элементарной ячейки активной зоны

В первую очередь необходимо было убедиться в работоспособности топливной сборки, для понимания целесообразности проведения исследований, а также подобрать состав смеси для обеспечения энерговыработки аналогичной стандартному топливу. С этой целью был проведен расчет, топливные параметры которого совпадали с параметрами для уранового топлива. Длительность кампании определялась с помощью коэффициента размножения, за счет регистрации момента падения его значения

ниже единицы, а полная электрическая энерговыработка – посредством перемножения количества эффективных суток и электрической мощности установки для выбранного топлива. Оптимальное обогащение определяется путем сравнения полученного результата с энерговыработкой урана.

Выполненные расчеты показали, что при обогащении 5 % ториевое топливо значительно уступает урановому по энерговыработке. Однако, при обогащении 7 % и плотности топлива  $9400 \text{ кг/м}^3$  при тепловой мощности 3000 МВт, длительность топливной кампании сборки на торий-плутониевой композите составит 1237 эффективных суток. Это значительно больше, чем время работы ВВЭР-1000 на диоксиде урана, примерно на 100 суток. В связи с этим, столь длительная эксплуатация приведет к значительному изменению нуклидного состава микро топлива и его структуры, а также к изменению теплофизических свойств и температуры топлива.

Затем проводится анализ влияния водно-топливного отношения ( $S_{\text{вод}}/S_{\text{топ}}$ ) на длительность топливной кампании. Для этого был проведен ряд однотипных расчетов, отличных друг от друга концентрацией молекул воды и варьированием водно-топливного отношения в пределах от 1,0 до 5,0 с шагом 0,2. Сравнив полученные длительности кампаний, определяем оптимальную геометрию с наибольшим количеством эффективных суток.

Анализ спектров потоков нейтронов на начало и конец кампании показал, что у уранового топлива значительно больше тепловых нейтронов, а его спектр мягче, чем у торий-плутониевого топлива. Для повышения эффективности использования исследуемого топлива рекомендуется уменьшить водно-топливное отношение со стандартного 2,0 до 1,2 для переориентации ТВС на использование быстрых нейтронов. Это позволит увеличить время работы сборки на 50,5 суток, как видно из рис. 2.

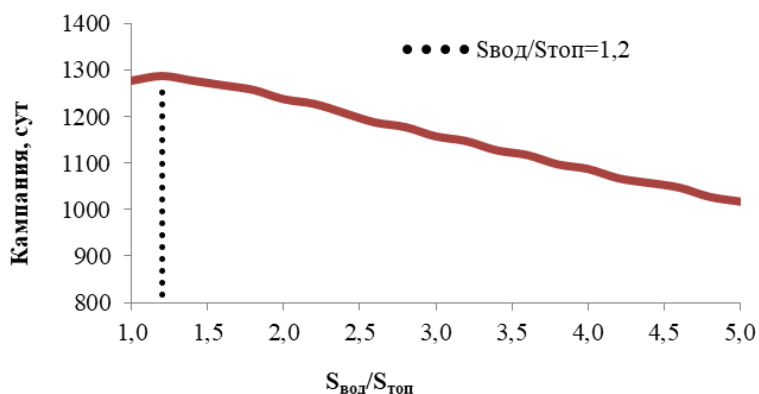


Рис. 2. Зависимость времени работы реактора от водно-топливного отношения

Изменение геометрии элементарной ячейки активной зоны скажется на ее эксплуатации, посредством изменения плотностей потоков групп быстрых и промежуточных нейтронов в большую сторону, а соответственно и увеличение радиационного фона, требующего внедрения в установку дополнительной радиационной защиты. Подобное изменение не входит в рамки установленной работы и будет рассмотрено отдельно в будущих трудах.

Для реакторов ВВЭР, теплоноситель прокачивается через ТВС в активной зоне. В случае гексагональных тепловыделяющих сборок, расстановка твэлов осуществляется в шестиугольных ячейках. Расчет водно-топливного отношения производился посредством отношения площадей поперечного сечения, соответствующих зон. Для достижения наибольшей продуктивности торий-плутониевого топлива, необходимо уменьшить шаг расстановки до 11,85 мм. Для обеспечения универсальности применения ТВС с новой геометрией в существующих реакторах размер под ключ ТВС должен оставаться неизменным (234 мм). Однако, этот фактор приводит к возникновению пустотного пространства, которое заполняется теплоносителем при эксплуатации, нарушая водно-топливное отношение внешнего контура.

Лучшими вариантами для решения возникшей проблемы стали:

- А. Установка выгорающего поглотителя в образовавшихся пустотах;
- В. Внедрение ячеек с чистым торием, служащих зоной воспроизводства вторичного топлива.
- С. Увеличение и внедрение новых ребер жесткости для повышения устойчивости ТВС.

Остановиться было решено на третьем варианте, включающем увеличение и добавление новых ребер жесткости для повышения устойчивости. Причиной тому стало то, что это единственный из предложенных вариантов, не подразумевающий частичное поглощение нейтронного потока, которое потенциально скажется на жесткости спектра и оптимальной геометрии.

При выборе формы и толщины ребер и увеличении существующих элементов были рассмотрены различные вариации расположения ячеек. Целью было определить форму свободного пространства, которая была бы удобна для модификаций. Приоритетными точками для размещения ячеек были углы, центры ребер и радиусы между этими точками и центром шестиугольника, а также пространство вокруг центрального канала. Прочие ячейки располагались равномерно вокруг них.

Оптимальным решением, на котором решено остановиться, представлено на рис. 3.

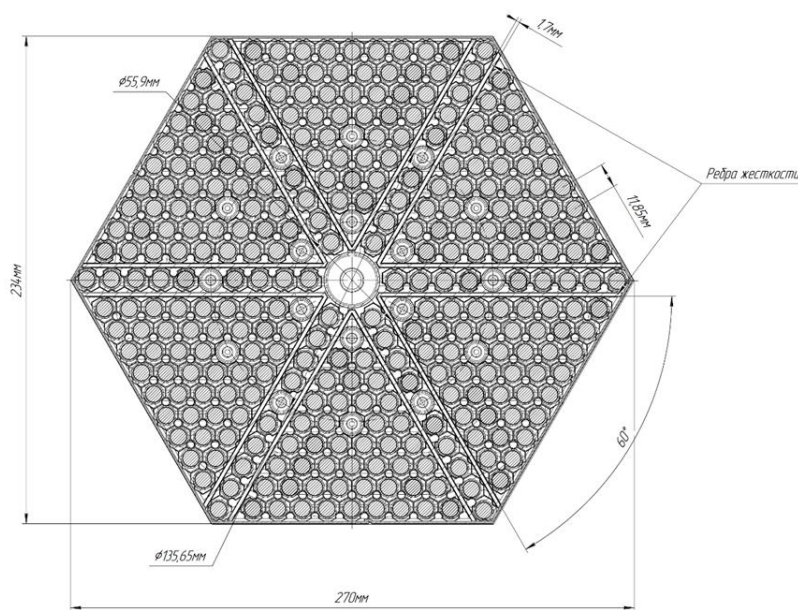


Рис. 3. Смоделированная дистанционирующая решетка с водно-топливным отношением 1,2

После рассмотрения возможности применения торий-плутониевого топлива со стороны нейтронно-физических параметров, были проведены расчёты теплофизических критериев нового композита, превышение которых может привести к его плавлению и поломке реактора. Для этого были выполнены расчёты с использованием основных теплофизических закономерностей.

Первым делом была определена удельная объёмная плотность тепловыделения в топливной таблетке при условии, что максимумы энерговыделения по высоте и радиусу совпадают и соответствуют положению – центр.

После тепловой канал был «разбит» на 10 участков, нумерация которых начинается от участка входа теплоносителя, а длина каждого участка равна 35 см. Такое деление позволяет заменить непрерывное косинусоидальное распределение по высоте на кусочное и добиться более точных результатов.

При более продуктивной геометрии для правильной работы реактора теплоноситель, по расчётам, будет вынужден течь со скоростью от 10 до 11,5 м/с. Это не удовлетворяет техническому устройству реактора ВВЭР-1000, где скорость теплоносителя не превышает

10 м/с. При использовании реактора в таких условиях он не способен долго эксплуатироваться, что приведёт его к поломке и ЧС на реакторе. Устойчивость смоделированной ТВС таким нагрузкам будет рассмотрена в будущих работах. Потому использование торий-плутониевого топлива с максимальной эффективностью не безопасно и для его использования необходимо среднее используемое водно-топливное отношение равное 2,0. При нём скорость теплоносителя опустится до 8-9,5 м/с, удовлетворяющих условиям эксплуатации.

На основе вышеупомянутых расчетов и условия равномерности состава и свойств композита на протяжении всей работы была определена температура в самой топливной таблетке, и на основе всех полученных данных был построен график зависимости температуры от радиуса тепловыделяющей сборки для максимальной температуры (рис. 4.).

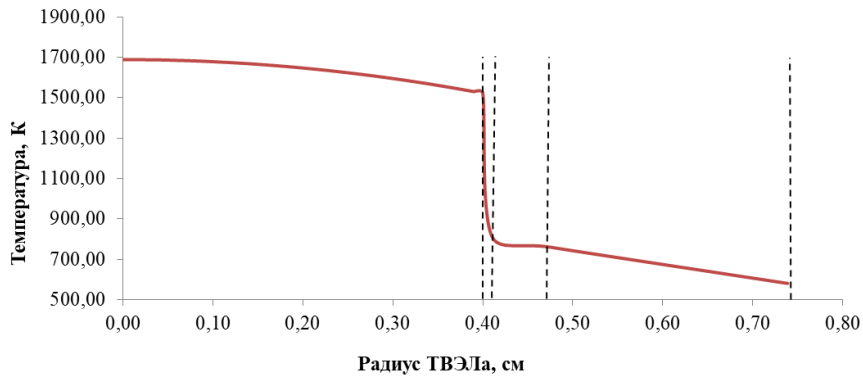


Рис. 4. Распределение максимальной температуры по радиусу ТВС

Также используя энергию Гиббса было спрогнозировано какие оксидные и галогенные соединения могут образоваться при высоких температурах из элементов с наибольшими концентрациями, исходя из чего было рассчитано изменение теплопроводности торий-плутониевого топлива в результате выгорания.

### Заключение

Таким образом, была рассмотрена возможность перехода наиболее распространённого реактора ВВЭР-1000 с уран-плутониевого цикла на торий-урановый.

Найдена наиболее эффективная геометрия с водно-топливным отношением 1,2, которая позволит достичь рекордного значения топливной кампании в 1287,5 суток.

Однако, как показали расчеты, эксплуатация нового топлива с лучшей эффективностью невозможна, что обусловлено недостаточной вибрационной устойчивостью существующей конструкции. По этой причине стоит придерживаться стандартного водно-топливного отношения 2,0. Такие изменения приведут к уменьшению работы реактора на 50,5 суток.

Было получено, что максимальная температура, возникающая в топливе на начало работы, будет равна 1687 К, что меньше максимальной температуры, возникающей в урановом топливе, на 100 К.

При дальнейшей работе теплопроводность топлива изменяется вместе с нуклидным составом с 21,5 Вт/(м·К) до минимального значения в 18,24 Вт/(м·К). Вместе с тем максимальная температура в исследуемом композите подымится до 1719,3 К, в то время как температура в урановом топливе возрастает до 2400 К. Столь значительное снижение в температурах позволит снизить нагрузку на топливный композит обезопасить использование установки.

Полученные параметры в будущем будут использованы для проведения моделирований в среде ЛОГОС.

### Список использованных источников

1. Изменение эксплуатационных характеристик водо-водяного корпусного энергетического реактора модели ВВЭР-1000 при внедрении торий-плутониевого композита в топливную загрузку / А.А. Баталов, В.В. Кнышев // Учен. зап. физ. фак-та Моск. ун-та. – 2023. – № 4.
2. Русинкевич А.А. Термодинамические эффекты в переносе продуктов деления в микротопливе при глубоких выгораниях: дисс. ... канд. тех. наук. – Москва : Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», 2016. – 135 с.
3. Pazirandeh A., Ghaseminejad S., Ghaseminejad M. Effects of various spacer grid modeling on the neutronic parameters of the VVER-1000 reactor // Annals of Nuclear Energy. – 2011. – Vol. 38. – P. 1978–1986.
4. Алексеев С.В., Зайцев В.А. Торий в ядерной энергетике. – Москва : Техносфера, 2014. – 288 с.

# ОЦЕНКА ЖЕСТКОСТИ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Кочетыгов М.А.<sup>1</sup>, Гонцова М.М.<sup>2</sup>, Копырин В.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Тюменский индустриальный университет, гр. ЭСб-21-1, e-mail: maks.armeytsev.95@mail.ru

<sup>2</sup> Тюменский индустриальный университет, гр. ЭСб-21-1, e-mail: goncova2002@mail.ru

<sup>3</sup> Тюменский индустриальный университет, доцент, e-mail: kopyrinva@gmail.com

## Введение

Согласно классическим работам G Hall и J. M. Watt, Hairer и G. Wanner задача Коши является жесткой в некотором интервале  $[t_0, T]$  и для любого  $t \in [t_0, T]$  если [1, 2]:

1. Собственные числа матрицы Якоби  $\lambda_i = \lambda_i(t)$ , для которых  $\text{Re}(\lambda_i) < 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, s$  (то есть система асимптотически устойчива по Ляпунову);
2.  $S(t) = \max_{i=1, \dots, s} \text{Re}(-\lambda_i(t)) / \min_{i=1, \dots, s} \text{Re}(-\lambda_i(t)) \gg 1$ ,

где  $\lambda_i$  – собственные значения матрицы Якоби  $\left[ \frac{\partial f_i}{\partial y_j} \right]_{\substack{i=1, \dots, s \\ j=1, \dots, s}}$  в которые подставлено решение  $y(t)$  в

точке  $t$ .

$S(t)$  является отношением, которое Лэмберт назвал (локальным) «коэффициентом жесткости» задачи Коши. На практике задача считается жесткой, если  $S^* = \sup_{t \in [t_0, T]} S(t) > 100$ .

С физической точки зрения это означает, что существуют системы с сильно различающимися постоянными времени протекания процессов. Для решения таких задач использование классических численных явных методов типа Рунге-Кутты приводит к необходимости уменьшать шаг сетки, тем самым, увеличивая требуемое время и вычислительные мощности. В некоторых случаях задача может быть вообще не решена.

В электротехнике к данным объектам можно отнести электрические машины, а также системы, включающие в себя несколько устройств:

1. Система «кабельная линия – электрическая машина» [3-5].
2. Система «кабельная линия – трансформатор - компенсатор реактивной мощности» [6] и др.

Целью исследования является оценка жесткости системы дифференциальных уравнений двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

## Объект и методы исследования

В качестве объекта исследования рассмотрим систему дифференциальных уравнений, описывающих электромеханические процессы в двигателе постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ). Для ДПТ НВ система дифференциальных уравнений в матричном виде в нормальной форме Коши имеет вид [7-9]:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{c}{L_a} \\ \frac{c}{J} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{U(t)}{L_a} \\ -\frac{M_c(t)}{J} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $i_a(t)$  – ток якоря, А;  $\omega(t)$  – угловая скорость вращения ротора, рад/с;  $R_a$  – активное сопротивление обмотки якоря, Ом;  $L_a$  – индуктивность обмотки якоря, Гн;  $c$  – конструктивная постоянная, В/(рад/с);  $J$  – момент инерции, приведенный к валу электродвигателя, кг·м<sup>2</sup>;  $U(t)$  – входное напряжение, В;  $M_c(t)$  – статический момент нагрузки, Н·м;  $t$  – время, с.

Матрица коэффициентов перед переменными состояния в системе (1) имеет вид:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} -\frac{R_{\text{я}}}{L_{\text{я}}} & -\frac{c}{L_{\text{я}}} \\ \frac{c}{J} & 0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

Определим собственные значения матрицы коэффициентов  $\mathbf{A}$  по выражению:

$$|(\mathbf{A} - \lambda \cdot \mathbf{E})| = 0, \quad (3)$$

где  $\mathbf{E} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$  – единичная матрица.

После математических преобразований получим характеристическое уравнение:

$$\lambda^2 + \frac{R_{\text{я}}}{L_{\text{я}}} \cdot \lambda + \frac{c^2}{L_{\text{я}} \cdot J} = 0. \quad (4)$$

Найдем корни характеристического уравнения (4):

$$\lambda_{1,2} = -\frac{R_{\text{я}}}{2 \cdot L_{\text{я}}} \pm \sqrt{\left(\frac{R_{\text{я}}}{2 \cdot L_{\text{я}}}\right)^2 - \frac{c^2}{L_{\text{я}} \cdot J}}. \quad (5)$$

## Результаты

Рассмотрим двигатель постоянного тока с независимым возбуждением марки 2ПФ200Л4, паспортные данные которого приведены в таблице 1 [10].

Таблица 1

*Паспортные параметры ДПТ НВ 2ПФ200Л4*

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$ , В	440
Номинальная мощность $P_2$ , кВт	42
Номинальная частота вращения $n_{\text{ном}}$ , об/мин	2360
Максимальная частота вращения $n_{\text{макс}}$ , об/мин	3500
Коэффициент полезного действия $\eta$ , %	90,5
Эквивалентное сопротивление обмотки якоря, приведенное к 75 °С $R_{\text{я}}$ , Ом	0,114
Индуктивность обмотки якоря $L$ , мГн	2,1
Момент инерции, приведенный к валу электродвигателя $J$ , кг·м <sup>2</sup>	0,3

Согласно выражению (5), получим корни характеристического уравнения для рассматриваемого двигателя постоянного тока с независимым возбуждением:

$$\lambda_1 = -27,14 \pm j \cdot 63,43; \quad \lambda_2 = -27,14 \pm j \cdot 63,43.$$

Определим коэффициент жесткости для данной системы дифференциальных уравнений:

$$S = \frac{27,14}{27,14} = 1.$$

Проведем оценку жесткости системы дифференциальных уравнений для других марок электродвигателей [10]. Полученные данные сведем в таблицу 2.

Таблица 2

*Результаты расчета коэффициента жесткости*

Марка	Параметры								S
	$P_{\text{ном}}$ , кВт	$U_{\text{ном}}$ , В	$I_{\text{ном}}$ , А	$n_{\text{ном}}$ , об/мин	$R_{\text{я}}$ , Ом	$L_{\text{дв}}$ , Гн	$J_{\text{дв}}$ , кг·м <sup>2</sup>	$c$ , В/(рад/с)	
ПС(Т)-31	0,12	110	1,7	2200	6,2	0,098	0,0025	0,432	2,90
ПС(Т)-41	0,18	110	2,3	2200	3,65	0,073	0,003	0,441	1,00
2ПБ90МУХЛ4	0,28	110	3,6	1600	4,54	0,062	0,004	0,559	1,64

2ПБ90МУХЛ4	0,4	110	5,1	2360	2,33	0,034	0,004	0,397	1,27
2ПБ90МУХЛ4	0,4	220	3,1	2200	11,24	0,147	0,004	0,806	2,96
2ПБ90МУХЛ4	0,55	110	6,9	3000	1,58	0,021	0,004	0,315	2,36
2ПБ90МУХЛ4	0,55	220	3,5	3000	6,54	0,082	0,004	0,628	2,95
2ПБ100МУХЛ4	0,26	110	3,9	750	5,45	0,012	0,011	1,13	19,27
2ПБ112МУХЛ4	0,34	110	4,9	800	3,56	0,026	0,015	1,105	3,72
2ПБ112МУХЛ4	0,34	220	2,5	750	15,79	0,106	0,015	2,3	4,44
2ПБ112МУХЛ4	0,45	110	6,1	1060	2,41	0,016	0,015	0,858	5,21

## Заключение

Проведена оценка жесткости системы дифференциальных уравнений, описывающих двигатель постоянного тока с независимым возбуждением. Для рассмотренных ДПТ НВ коэффициент жесткости варьируется от 1 до 19,27, следовательно задача Коши не является жесткой. Для решения не жесткой системы дифференциальных уравнений подходят классические явные численные методы, например, семейство методов Рунге-Кутты.

Для решения жестких задач использование классических численных явных методов Рунге-Кутты приводит к необходимости уменьшать шаг сетки, тем самым, увеличивая требуемое время и вычислительные мощности. В некоторых случаях задача, может быть, не решена.

## Список использованных источников

1. Hairer E., Wanner G. Solving Ordinary Differential Equations II: Stiff and Differential Algebraic Problems // Springer Series in Computational Mathematics. – 1996. – Vol. 14. – P. 614.
2. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений / ред.: Дж. Холл, Дж. Уат. – Москва : Мир, 1979. – 312 с.
3. Определение погонных электротехнических параметров нефтепогружного кабеля / А.С. Глазырин, Ю.Н. Исаев, С.Н. Кладиев [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 6. – С. 186-197. – DOI 10.18799/24131830/2021/06/3249.
4. Оптимизация порядка редуцированной динамической модели ненагруженного нефтепогружного кабеля на основе аппроксимации амплитудно-частотной характеристики / А.С. Глазырин, Ю.Н. Исаев, С.Н. Кладиев [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 9. – С. 154–167. – DOI 10.18799/24131830/2021/9/3365.
5. Переходные процессы в электротехническом комплексе добывающей скважины с внутрискважинным компенсатором реактивной мощности / А.С. Глазырин, Ю.Н. Исаев, В.А. Копырин [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334, № 5. – С. 168–180. – DOI 10.18799/24131830/2023/5/4255.
6. Исследование электромагнитных переходных процессов в погружной установке для добычи нефти с внутрискважинным компенсатором реактивной мощности / В.А. Копырин, Ф.А. Лосев, Р.Н. Хамитов [и др.] // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2023. – № 2 (77). – С. 124–129.
7. Глазырин, А. С. Математическое моделирование электромеханических систем. Аналитические методы : учебное пособие / А. С. Глазырин; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 206 с.
8. Аналитическая модель динамической системы «широтный-импульсный преобразователь - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением» / А.С. Глазырин, Е.И. Попов, В.А. Копырин, С.Н. Кладиев // Известия Томского политехнического университета. Промышленная кибернетика. – 2023. – Т. 1, № 4. – С. 34–45. – DOI 10.18799/29495407/2023/4/41.
9. Исследование наблюдателя угловой скорости электропривода постоянного тока с пропорциональной и пропорционально-интегральной компенсацией момента сопротивления / А.С. Глазырин, Ю.Н. Исаев, С.Н. Кладиев, С.С. Попов, Е.И. Попов, В.В. Тимошкин, В.А. Копырин, И.А. Набунский // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 7. – С. 205–212. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-7-205-206.
10. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. / Под общ. Ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т. 1. – М. : Энергопромиздат, 1988. – 456 с.



# МОДЕЛЬ ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИЗЕЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

*Брамм А.М.*

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
Уральский энергетический институт, кафедра электротехники, аспирант,  
e-mail: am.bramm@urfu.ru*

## **Введение**

Обеспечение энергией удаленных территорий, для которых централизованное электроснабжение не является возможным по техническим и экономическим причинам, является важной задачей в стратегии развития энергетической отрасли РФ [1]. Большинство проектов автономных систем электроснабжения бытовых и промышленных потребителей территорий Арктической зоны, Дальнего Востока и других труднодоступных территорий основаны на применении дизельных генерирующих установок (ДГУ). В условиях неравномерного графика нагрузки ДГУ, выступающие в качестве единственного источника электрической энергии, вынуждены работать в неоптимальных режимах с повышенным удельным расходом дизельного топлива. В совокупности с повышенным расходом топлива и затрудненными условиями поставки топлива (сезонные завозы) цена на электроэнергию в таких системах составляет в среднем 35–40 руб./кВт·ч, а в некоторых случаях превышают 50 руб./кВт·ч.

Актуальным направлением развития автономных систем электроснабжения для удаленных и труднодоступных территорий является создание гибридных систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [2]. Однако, для эффективной эксплуатации таких гибридных систем требуется разработка алгоритмов оптимизации выбора состава системы генерации, прогнозирования генерации ВИЭ и почасового управления балансами энергии при помощи технологий энергетической гибкостью [3-4].

В целях тестирования разрабатываемых алгоритмов и оценки их влияния на режимы работы автономных систем электроснабжения требуются инструменты для моделирования таких систем.

## **Описание модели**

Предлагаемая модель разработана с использованием языка программирования Python на основе библиотеки pandapower [5] и состоит из следующих основных частей:

- система распределения электрической энергии (воздушные и кабельные линии электропередачи (ЛЭП), трансформаторы);
- система потребления электрической энергии (электрические нагрузки);
- система генерации электрической энергии, функционирующая на основе использования ДГУ;
- система генерации электрической энергии, функционирующая на основе использования ВИЭ;
- система накопления электрической энергии (СНЭЭ).

Для моделирования ЛЭП используется П-образная схема замещения, параметры которой рассчитываются на основе данных об удельных сопротивлениях используемых проводников и протяженности моделируемой ЛЭП. Для моделирования трансформаторов используется Т-образная схема замещения, параметры которой рассчитываются на основании паспортных данных используемого трансформатора (номинальные напряжения, номинальная мощность, напряжение короткого замыкания, потери холостого хода). При моделировании ДГУ используется PV-модель узла генерации с заданием значения инъекции активной мощности, поддерживаемого напряжения узла и пределов регулирования по активной и реактивной мощности. Генерация, функционирующая на основе использования ВИЭ, моделируется при помощи PQ-модели узла с задаваемыми значениями инъекции активной и реактивной мощности. СНЭЭ моделируется с использованием PQ-модели узла с дополнительными параметрами (уровень заряда, максимальная емкость системы), влияющими на ограничения инъекции активной и реактивной мощности.

Для моделирования различных режимов работы автономной системы электроснабжения и управления мощностью электрических нагрузок, генерации и СНЭЭ применяются функции-контроллеры. Данные функции позволяют изменять потребляемую и генерируемую мощность элементов системы



при помощи временных рядов, таким образом моделируя график электрических нагрузок, изменение генерации ВИЭ во времени, режимы работы СНЭЭ. Расчет уровня заряда СНЭЭ производится в соответствии со следующим выражением (1).

$$SOC_n = SOC_{n-1} + \frac{\pm P_n \cdot (t_n - t_{n-1})}{E_{max}} \cdot \eta \cdot 100, \quad (1)$$

где  $SOC$  – уровень заряда СНЭЭ, %;  $P$  – активная мощность (положительная для генерации, отрицательная для нагрузки), МВт;  $E_{max}$  – максимальная энергоемкость СНЭЭ, МВтч;  $\eta$  – коэффициент потерь при заряде/разряде СНЭЭ, о.е.;  $t$  – время, ч;  $n$  – шаг расчета.

Также для оценки расхода дизельного топлива в модели используется функция, использующая усредненную характеристику удельного расхода топлива ДГУ и данные о загрузке установки для определения расхода топлива в различных режимах работы. В качестве удельной расходной характеристики в данной модели используется аппроксимированная зависимость удельного расхода топлива для ДГУ, полученная из паспортных данных установок [6,7]. Аппроксимирующая квадратичная функция удельного расхода дизельного топлива представлена в выражении (2).

$$fuel\ cons = 58.8 \cdot P_{p.u.}^2 - 86.18 \cdot P_{p.u.} + 241.575, \quad (2)$$

где  $P_{p.u.}$  – уровень загрузки установки по активной мощности, о.е.

Расчет электрического режима автономной системы электроснабжения производится по методу Ньютона-Рафсона [8]. В результате расчета серии режимов для заданных временных отрезков выводятся графики изменения параметров режима (напряжения узлов, загрузка линий, мощности генерации и нагрузки), а также график уровня заряда СНЭЭ и график потребления дизельного топлива.

Структура разработанной модели представлена на рис. 1.

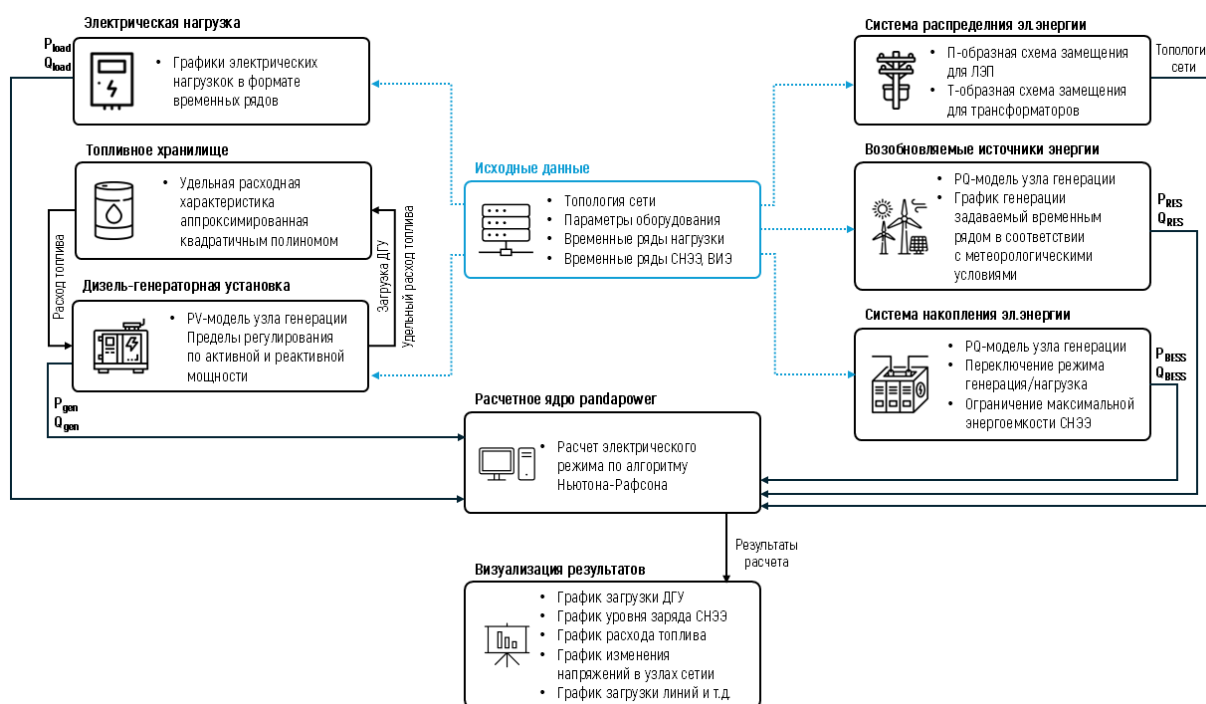


Рис. 1. Структура модели автономной системы электроснабжения  
(голубые стрелки – данные для инициализации модели;  
черные стрелки – данные для расчета режима и результаты расчета)

Для тестирования разработанной модели была смоделирована автономная система электроснабжения, основанная на данных о структуре нагрузки и усредненных графиках электрических нагрузок нефтепромышленных распределительных подстанций в сети 10/0,4 кВ [9]. Соотношение установленной мощности генерации ДГУ, ВИЭ и энергоемкости СНЭЭ было принято в соответствии с реализованными компанией РУСГИДРО проектами автономных систем электроснабжения на удаленных территориях [10]. В качестве района для размещения моделируемой системы была рассмотрена территория Красноярского Края. Ввиду рассматриваемой территории для автономной системы электроснабжения

в качестве типа используемых ВИЭ было принято рассмотреть ветровые электрические установки (ВЭУ). Данные об установленной мощности генерации, нагрузки и энергоёмкости СНЭЭ представлены в таблице 1.

Таблица 1

*Элементы моделируемой автономной системы электроснабжения*

Элемент системы	Установленная мощность/энергоёмкость, МВт/МВтч	Количество, шт	Референсная модель оборудования (при наличии)
Нагрузка	5,6	–	–
ДГУ	1,5	2	АД-1500С-Т400-1РМ9
ВЭУ	0,3	4	Komaihaltec KWT300
СНЭЭ	0,4/0,820	1	СНЭ-0,4-400/400-820

Для определения графика работы ВЭУ были использованы почасовые данные о скоростях ветра и объемах генерации ВЭУ [11], пересчитанные для рассматриваемой мощности и территории с учетом коэффициента используемой мощности (КИУМ), определенного для рассматриваемых территорий в [11]. Пересчет графика генерации ВЭУ производился на основании следующего выражения:

$$\overline{P_{WPP}^{new}} = \overline{P_{WPP}^{ref}} \cdot \frac{CF_{WPP}^{new}}{CF_{WPP}^{ref}} \cdot \frac{P_{WPP inst}^{new}}{P_{WPP inst}^{ref}}, \quad (3)$$

где  $\overline{P_{WPP}^{new}}$  – график генерации рассматриваемой ВЭУ, МВт;  $\overline{P_{WPP}^{ref}}$  – график генерации референсной ВЭУ, МВт;  $CF_{WPP}^{new}$  – КИУМ рассматриваемой ВЭУ, оцененный по методике представленной в [12], о.е.;  $CF_{WPP}^{ref}$  – фактический КИУМ референсной ВЭУ, о.е.;  $P_{WPP inst}^{new}$  – установленная мощность рассматриваемой ВЭУ, МВт;  $n$  – шаг расчета;  $P_{WPP inst}^{ref}$  – установленная мощность референсной ВЭУ, МВт.

Таким образом, на основе указанных выше данных и методики была смоделирована автономная система электроснабжения, структура которой представлена на рис. 2.

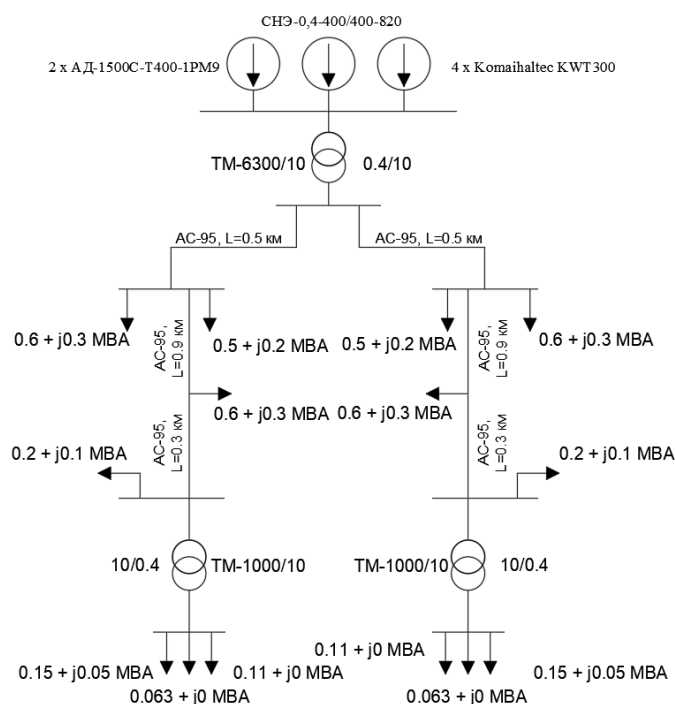


Рис. 2. Обобщенная структура моделируемой автономной системы электроснабжения

В результате моделирования вышеописанной автономной системы электроснабжения были получены следующие результаты для режима загрузки ДГУ (рис. 5) при заданных графике нагрузки (рис. 3) и режиме работы СНЭЭ (рис. 4).

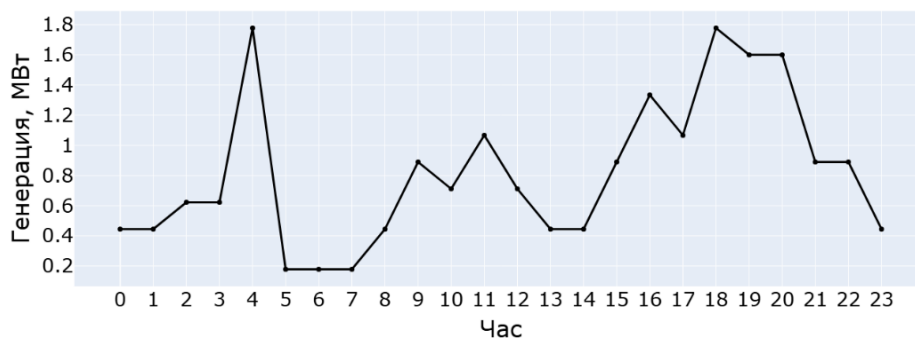


Рис. 3. Заданный график изменения суммарной нагрузки автономной системы электроснабжения

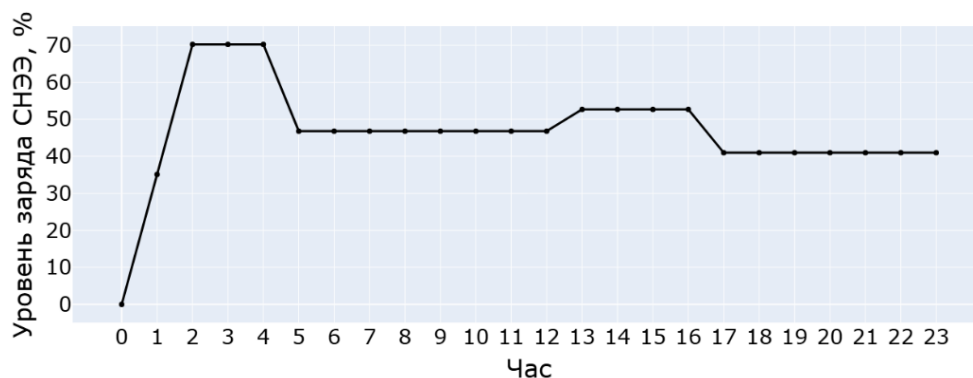


Рис. 4. Изменение уровня заряда АПЭ при заданном режиме работы в составе автономной системы электроснабжения

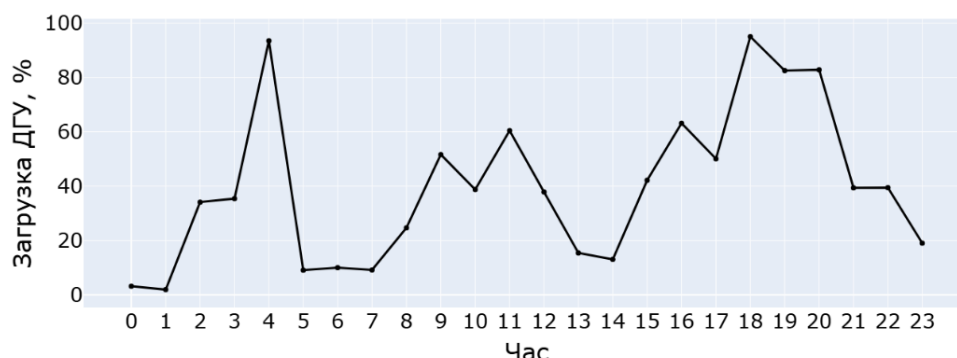


Рис. 5. График загрузки ДГУ при работе в составе автономной системы электроснабжения

При максимальной суточной нагрузке, составляющей 1.78 МВт, одна из ДГУ используется в качестве резерва на случай выхода из строя второй ДГУ, находящейся в работе. Итоговое суточное потребление дизельного топлива при заданном режиме работы автономной системы электроснабжения составило 4392.3 л.

### Заключение

В данной работе предложена модель автономной системы электроснабжения с использованием ДГУ и ВИЭ в качестве источников электрической энергии. Структура модели является гибкой и позволяет изменять типы генерирующих установок, графики нагрузки и режимы работы установок. В предложенной системе также имеется возможность оценки расхода дизельного топлива в соответствии с режимами работы автономной системы электроснабжения. Используемые для моделирования ДГУ и АПЭ модели могут быть расширены дополнительными функциями при необходимости.

Предложенную модель можно использовать для тестирования алгоритмов управления балансами энергии автономных систем электроснабжения, оптимизации их режимов, тестирования различных режимов работы АПЭ в совокупности в ВИЭ.

## Список использованных источников

1. Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации. – URL: <https://minenergo.gov.ru/ministry/energy-security-doctrine?ysclid=lsipl3svw513749979>. (дата обращения: 07.10.2024).
2. Шшелковой Е.В., Кабанов В.А. Технологии гибридной генерации для локальной энергетики дальнего востока и арктики // Энергоэксперт. – 2024. – № 3 (91). – С. 40–46.
3. Ачитаев А.А., Суворов А.А., Аскарлов А.Б. Технологии управления возобновляемыми источниками энергии в составе изолированных энергосистем // X Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, специалистов, аспирантов, студентов и школьников «Гидроэлектростанции в XXI веке», 2023. – С. 15–22.
4. Бердников Р., Холкин Д., Чаусов И. Оптимизация систем энергоснабжения удаленных и изолированных территорий за счет управления энергетической гибкостью // Энергетическая политика. – 2023. – № 1 (179). – С. 94–106.
5. Pandapower – pandapower 3.0.0 documentation. – URL: <https://pandapower.readthedocs.io/en/latest/>. (дата обращения: 07.10.2024).
6. Дизель генераторы, электростанции ДЭС, ДГУ. – URL: <https://www.gc-azimut.ru/dizel-generatory> (дата обращения: 07.10.2024).
7. Specific Fuel Consumption [g/kWh]. – URL: [sustainable-ships.org](https://sustainable-ships.org) (дата обращения: 07.10.2024).
8. Паздерин А.В., Юфев С.В. Расчет установившегося режима электроэнергетической системы обобщенным методом Ньютона // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2008. – № 5. (дата обращения: 07.10.2024).
9. Устинов Д.А., Коновалов Ю.В., Плотников И.Г. Паспортизация электрических нагрузок нефтегазодобывающих предприятий // Глобальная энергия. – 2012. – № 1 (142). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pasportizatsiya-elektricheskikh-nagruzok-neftegazodobyvayuschih-predpriyatiy>. (дата обращения: 07.10.2024).
10. Проекты модернизации локальной генерации. – URL: [https://rushydro.ru/activity/program\\_innovation/proekty-modernizatsii-lokalnoy-generatsii/?ysclid=m1yzry6a91492559661&utm\\_source=yandex.ru&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=yandex.ru&utm\\_referrer=yandex.ru](https://rushydro.ru/activity/program_innovation/proekty-modernizatsii-lokalnoy-generatsii/?ysclid=m1yzry6a91492559661&utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru). (дата обращения: 07.10.2024).
11. Wind Turbine Scada Dataset. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/berkerisen/wind-turbine-scada-dataset> (дата обращения: 07.10.2024).
12. Брамм А.М. Прогнозирование коэффициента использования установленной мощности для объектов генерации на базе возобновляемых источников энергии для децентрализованных электроэнергетических систем / Брамм А.М., Матренин П.В., Попкова Н.А., Секацкий Д.А. [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2024. – Т. 67, № 5. – С. 411–424.

# ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА

Гафарова К.А.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», ТФ,  
студент ББП03о-21-01, kamilla.gafarova102@yandex.ru

## Введение

В современном мире, где технологии развиваются стремительными темпами, цифровое моделирование становится ключевым инструментом для проектирования, анализа и оптимизации сложных технических систем. Одним из подходов, который находит всё большее применение в этой области, является мультиагентное моделирование.

Цель данной статьи заключается в подробном описании этапов разработки алгоритмов цифрового моделирования сложных технических систем с использованием мультиагентного подхода, а также обсуждение преимуществ этого подхода для исследования и разработки различных типов технических систем. Кроме того, были выявлены основные принципы и области применения данного метода.

## Основная часть

Мультиагентное моделирование – это метод моделирования и анализа сложных систем, в которых поведение системы рассматривается как результат взаимодействия множества автономных агентов [3]. Каждый агент – это отдельный элемент системы, который имеет свои цели, возможности и правила поведения. Данный подход позволяет создавать сложные системы, состоящие из множества взаимодействующих агентов (объектов, компонентов, элементов), что позволяет более точно и реалистично моделировать реальные процессы и поведение систем.

На рис. 1 показана блок-схема принципов мультиагентного подхода. Рассмотрим более подробно каждый из них: а) автономность - агенты действуют независимо от других элементов системы, имеют собственные цели и стратегии поведения; б) взаимодействие - агенты обмениваются информацией, влияют на поведение друг друга; в) децентрализация - система не имеет центрального элемента управления, каждый агент самостоятельно принимает решения; г) эмерджентность - поведение системы в целом не всегда может быть предсказано на основе поведения отдельных агентов, иногда возникают неожиданные результаты.



Рис. 1. Блок-схема принципов мультиагентного подхода

Основными этапами разработки алгоритмов являются:

1. Постановка целей и задач. На первом этапе необходимо чётко определить цели и задачи моделирования. Нужно сформулировать, какой объект будет моделироваться и какие параметры либо характеристики системы при этом будут учитываться.

2. Идентификация агентов. Второй этап включает в себя определение агентов, которые будут участвовать в моделировании. Это могут быть объекты системы, элементы конструкции, компоненты и другие элементы, взаимодействующие друг с другом.

3. Разработка математической модели. На этом этапе создаётся математическая модель, описывающая поведение агентов и их взаимодействие. Модель может быть представлена в виде системы дифференциальных уравнений, логических правил, матриц переходов и другие.

4. Алгоритмизация. Четвёртый этап предполагает разработку алгоритма, основанного на математической модели. Алгоритм должен позволять имитировать поведение системы и взаимодействие агентов.

5. Программирование. На этом шаге алгоритм реализуется в программном коде с использованием одного из языков программирования (Java, Python, C#), библиотек и фреймворков, поддерживающих мультиагентное моделирование.

6. Калибровка модели. Шестой этап заключается в настройке параметров модели для достижения максимальной точности и реалистичности результатов. Это может включать в себя подбор значений параметров, проверку на соответствие реальным данным и другие методы.

7. Валидация модели. После калибровки модель подвергается валидации, то есть проверке на соответствие реальным процессам и явлениям, которые она должна моделировать. Это позволяет убедиться в точности и достоверности результатов.

8. Анализ результатов. Полученные результаты анализируются с целью выявления закономерностей, тенденций и других особенностей поведения системы. Это позволяет понять, как система реагирует на различные воздействия и изменения параметров.

9. Оптимизация модели. Если анализ показывает, что модель не полностью соответствует ожиданиям или требованиям, её можно оптимизировать. Это может включать изменение параметров, добавление новых агентов или других улучшений.

10. Публикация результатов. После завершения разработки и валидации модели результаты могут быть опубликованы в научных журналах, представлены на конференциях или использованы в практических целях.

11. Документирование. В этом этапе идет процесс описания самого моделирования, а также составление отчётов и технической документации.

Этот алгоритм предоставляет общий план действий для цифрового моделирования сложных технических систем с использованием мультиагентного подхода. Он может быть адаптирован и дополнен в зависимости от специфики задачи и выбранных инструментов.

Цифровое моделирование сложных технических систем с использованием мультиагентного подхода предоставляет исследователям и инженерам ряд значительных преимуществ. Во-первых, мультиагентные системы позволяют создавать виртуальные модели сложных технических систем, которые воспроизводят поведение реальных объектов и их взаимодействие [2]. Это даёт возможность изучить систему в контролируемой среде и провести эксперименты, которые были бы невозможны или слишком рискованны в реальности.

Во-вторых, применение мультиагентных моделей позволяет анализировать системы, состоящие из множества элементов, взаимодействующих между собой сложным образом. Это особенно актуально для технических систем, таких как транспортные сети, производственные процессы или биологические системы.

В-третьих, моделирование позволяет проводить анализ и оптимизацию параметров системы, что может привести к улучшению её эффективности, снижению затрат или повышению безопасности. Также мультиагентные модели могут быть использованы для разработки стратегий управления сложными системами. Преимущества применения алгоритма в двух аспектах. Рассмотрим преимущества алгоритма цифрового моделирования в двух ключевых аспектах: научном исследовании и разработке технических систем.

В области науки мультиагентный подход позволяет исследователям изучать сложные системы, имитируя их поведение в виртуальной среде. Это способствует более глубокому пониманию механизмов функционирования систем и выявлению закономерностей, которые могут быть невидимы при простом наблюдении. Такое понимание может привести к новым открытиям и инновациям в различных областях науки. Мультиагентное моделирование применяется в различных областях, таких как логистика, экономика, социология, экология, транспорт и другие. Оно позволяет анализировать сложные системы, предсказывать их поведение, оптимизировать процессы и принимать обоснованные решения [1].

## **Заключение**

Таким образом, мультиагентный подход является мощным инструментом для исследования и разработки сложных технических систем. Он позволяет более глубоко понимать поведение систем, оптимизировать их параметры и разрабатывать эффективные стратегии управления. Алгоритм цифрового моделирования на основе этого подхода открывает новые возможности для научных исследований и практических применений в различных областях техники и науки.

При разработке технических систем мультиагентное моделирование сокращается время и затраты на разработку, а также снижаются риски, связанные с возможными ошибками или нежелательными последствиями. Кроме того, моделирование позволяет тестировать различные сценарии и стратегии, выбирая наиболее эффективные и безопасные решения.

## **Список использованных источников**

1. Антонова А.С., Аксенов К.А. Применение мультиагентного и эволюционного моделирования при планировании работ // Информатика, телекоммуникации и управление. – 2013. – № 6 (186). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-multiagentnogo-i-evolyutsionnogo-modelirovaniya-pri-planirovaniy-rabot> (дата обращения: 06.10.2024).
2. Тырин Г.Н. Разработка и исследование мультиагентных моделей / Г.Н. Тырин. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2017. – № 23 (157). – С. 166–173. – URL: <https://moluch.ru/archive/157/44381/> (дата обращения: 06.10.2024).
3. Крылов И.Б. Математические методы и мультиагентный подход, применяемые при разработке интеллектуальной обучающей системы технической дисциплины // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. – 2014. – С. 333–336.

# РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ ПРИ PVT-РАСЧЕТАХ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ СМЕСЕЙ

Легковой Г.В.<sup>1</sup>, Моисеева Е.Ф.<sup>2</sup>, Мальшев В.Л.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет, e-mail: legkovoy@gmail.com

<sup>2</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет, e-mail: elena.f.moiseeva@yandex.ru

<sup>3</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет, e-mail:

Victor.L.malyshev@gmail.com

## Введение

Одним из важнейших этапов исследования фазовых переходов в многокомпонентных системах является построение фазовых диаграмм, позволяющих визуализировать и оценивать поведение смеси в зависимости от изменяющихся параметров, таких как давление и температура. В данной работе ставится задача разработки алгоритма, способного эффективно и точно строить фазовые диаграммы на основе flash-расчетов фазового равновесия. Этот алгоритм позволяет проводить анализ стабильности фаз и определять границы термодинамического равновесия в широком диапазоне термобарических условий.

Используемый подход опирается на методы численного моделирования и включает несколько ключевых этапов, начиная от сбора данных о составе смеси и заканчивая построением фазовой кривой. Данный алгоритм предоставляет возможность улучшенного анализа поведения многокомпонентных систем, что особенно актуально в нефтегазовой отрасли для оценки фазового состояния углеводородных смесей.

## Описание алгоритма

Алгоритм построения фазовой диаграммы для PVT-расчетов начинается с задания исходных данных, которые содержат информацию о составе исследуемой смеси. Необходимыми исходными параметрами являются: доля компонента в смеси, его молекулярная масса, критическая температура, давление и объем, ацентрический фактор и температура кипения всех компонентов смеси. В некоторых случаях, если это предполагает метод расчета, может быть задана поправка Пенелё (шифт-параметр).

После задания исходных данных осуществляется расчет по алгоритму проверки стабильности многокомпонентной смеси [1, 2]. Данный алгоритм представляет из себя итерационный расчет, основанный на предположении о существовании второй фазы в системе. Его использование позволяет определить границы области двухфазного равновесия на фазовой диаграмме (рис. 1).

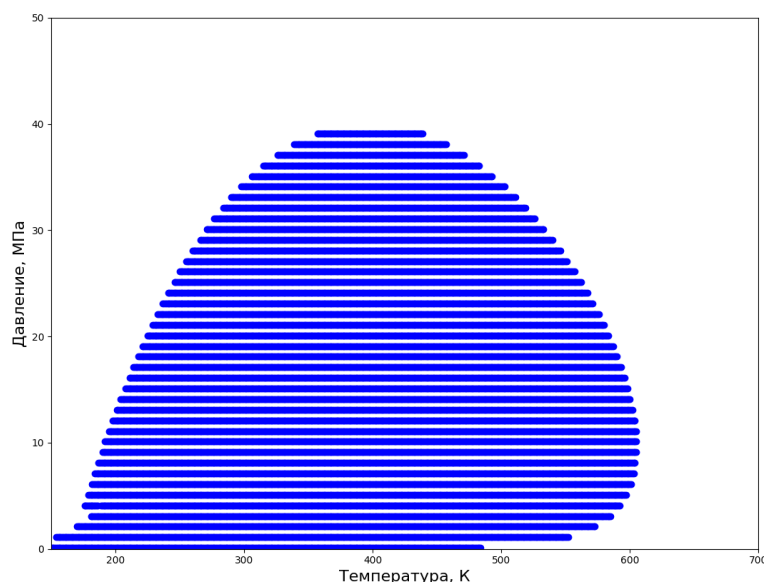


Рис. 1. Массив точек, соответствующий нестабильному (двухфазному) состоянию смеси



После определения зон нестабильности происходит отсев внутренних значений полученной фигуры, путем поиска первого и последнего элемента массива по температуре и давлению. Затем осуществляется предобработка данных, при которой полученные данные о давлении и температуре преобразуются в новый двумерный массив точек. Таким образом, полученный массив содержит информацию о точках, ограничивающих двухфазную область на фазовой диаграмме. Однако, если визуализировать точки, координаты которых представляют собой пары давлений и температур, становится очевидным, что для корректного отображения фазовой диаграммы требуются некоторые дополнительные преобразования, в частности сортировка точек для отображения их в «правильной» последовательности (рис. 2).

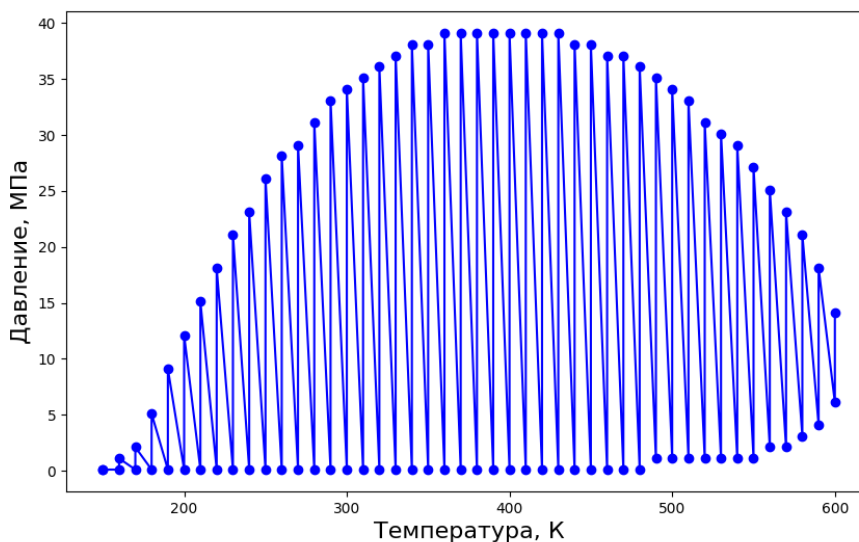


Рис. 2. Фазовая диаграмма, построенная по необработанным данным

Необходимость сортировки объясняется невозможностью построения кривой фазовой диаграммы из хаотичных точек. Также сортировка массива данных дает возможность создавать уравнения полученной кривой, описывающей конкретный состав с помощью средств машинного обучения.

В алгоритме реализован метод поиска ближайшего соседа. Этот метод упорядочивает точки таким образом, чтобы каждая последующая точка была ближайшей к предыдущей. Метод повторяется до тех пор, пока не будут отсортированы все точки в двумерном массиве. Полученная кривая наглядно отображает границы двухфазной области исследуемой газоконденсатной смеси (рис. 3).

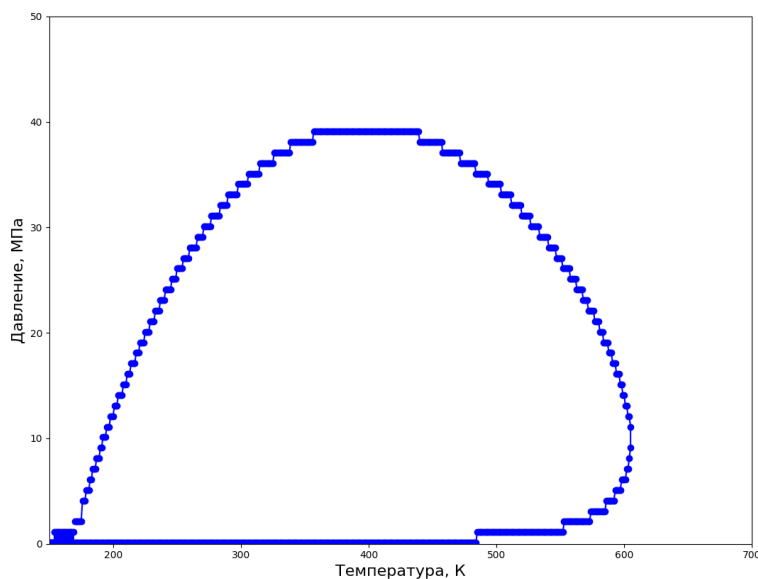


Рис. 3. Фазовая диаграмма, построенная по отсортированным данным

Однако, по мере повышения разрешения графика возникает проблема компромисса между точностью и вычислительной эффективностью [3], которую можно решить с помощью использования метода Гаусса.

Метод Гаусса, или гауссово сглаживание, представляет собой математическую процедуру, направленную на уменьшение влияния шумов и выравнивание данных путем применения свёртки с гауссовой функцией. Данный метод основан на концепции гауссового распределения и позволяет сглаживать колебания значений в ряде данных, что приводит к более плавным и точным результатам. Его использование в рамках данного алгоритма позволяет устранить возможные случайные искажения и резкие изменения между соседними значениями в ряде данных, что улучшает визуализацию и восприятие графика (рис. 4).

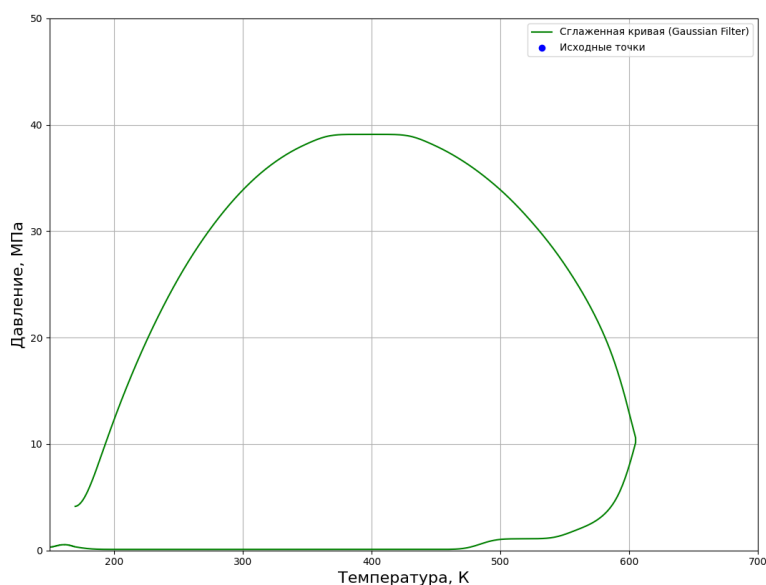


Рис. 4. Фазовая диаграмма составленная с помощью метода Гаусса

## Заключение

Разработанный алгоритм для построения фазовой диаграммы многокомпонентных смесей на основе PVT-расчётов предоставляет исследователям инструмент для детального анализа фазовых переходов. Использование метода ближайшего соседа для упорядочивания точек, а также гауссового сглаживания для повышения точности графиков позволяет получить надёжные и наглядные результаты. В будущем алгоритм может быть адаптирован для работы с более сложными системами и использован в исследованиях, связанных с термодинамическим поведением нефтегазовых смесей.

## Благодарности

Работа выполнена в рамках реализации программы деятельности научно-образовательного центра мирового уровня «Евразийский научно-образовательный центр мирового уровня» Республики Башкортостан (соглашение №МЛН-НОЦ-7 от 21.11.2023).

## Список использованных источников

1. Introduction to Natural Gas Processing. – URL: [https://www.e-education.psu.edu/png520/m17\\_p7.html](https://www.e-education.psu.edu/png520/m17_p7.html) (дата обращения: 16.09.2024).
2. Whitson C.H., Brulé M.R. Phase Behavior // Richardson: Society of Petroleum Engineers, 2000. – 275 p.
3. Malyshev V.L. Comparative study of empirical correlations and equations of state effectiveness for compressibility factor of natural gas determination / V.L. Malyshev, Ya.F. Nurgalieva, E.F. Moiseeva // Periodico Tche Quimica. – 2021. – Vol. 18, No. 38. – P. 188-213. – DOI 10.52571/PTQ.v18.n38.2021.14\_MALYSHEV\_pPs\_188\_213.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ VR-ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Васильев К.С.<sup>1</sup>, Газизов Ш.И.<sup>2</sup>, Шайбаков Б.Р.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Евразийская политехническая школа, техник лаборатории VR-технологий и робототехники  
e-mail: kirillsergeevich002@gmail.com

<sup>2</sup> Евразийская политехническая школа, техник лаборатории VR-технологий и робототехники  
e-mail: shamilgazizov22@gmail.com

<sup>3</sup> УГНТУ, старший преподаватель кафедры «Проектирование и строительство объектов нефтяной и газовой промышленности»

Строительство – это основа нашей современной цивилизации. Новые технологии и методы в строительстве сильно влияют на качество и условия нашей жизни. Бурное развитие компьютерных технологий ускорило прогресс в строительной отрасли, и использование виртуальной реальности стало все более распространенным, что привело к значительным изменениям в подходах к традиционному архитектурному проектированию. Современные технологии виртуальной реальности открывают новые горизонты для проектирования, улучшают процессы на этапах строительства. Данная технология играет ключевую роль в оптимизации проектных схем, чертежей и повышении научной обоснованности и рациональности архитектурных решений [1].

Программы для трехмерного моделирования крайне актуальны в современном строительстве. Они позволяют создавать детальные и точные модели зданий, что существенно упрощает процесс проектирования и строительства. Одна из таких программ – Blender. Данное приложение предоставляет все необходимые инструменты для моделирования, от создания базовых форм до детализированной текстуризации и настройки освещения. Добавление программы VirtuCamera к этому процессу позволяет использовать смартфон для управления виртуальной камерой. VirtuCamera – это приложение для смартфона, которое легко подключается к Blender через QR-код. Оно использует встроенные датчики движения устройства для управления виртуальной камерой в программе для моделирования. Перемещая телефон в пространстве, можно с легкостью двигать виртуальную камеру в Blender, наблюдая при этом на экране смартфона то, что было изначально спроектировано.

Создание трехмерного виртуального пространства среды является ядром и ключом к применению виртуальной технологии в будущем архитектурном проектировании. На рисунке 1 представлено детализированное трехмерное представление будущего жилого пространства, которое смоделировано в Blender. Использование виртуальной камеры в Blender с помощью смартфона позволит пользователям «погрузиться» в виртуальную версию своего будущего дома и рассмотреть, как будет выглядеть интерьер, прежде чем начнется строительство [2].



Рис. 1. Визуализированная модель интерьера дома в Blender

Преимущества VR-технологий включают интерактивную визуализацию на строительной площадке. Они позволяют в реальном времени просматривать элементы дизайна и интерьера на месте будущего строительства, что помогает создавать более точные планировки и адаптировать проекты под конкретные условия ландшафта и окружающей среды. Также данная технология способна к динамическому изменению проекта. Она позволяет вносить изменения в проект на лету, мгновенно видеть результаты и визуализировать различные варианты [3]. Это существенно упрощает процесс согласования и минимизирует вероятность ошибок, которые могут возникнуть из-за неверного восприятия традиционных чертежей. Мобильные технологии виртуальной реальности помогут выявить потенциальные проблемы в дизайне и конструкции на ранней стадии, что предотвращает дополнительные расходы на переделки и обеспечивает более эффективное использование ресурсов [4].

VR-технологии могут быть применены даже на самых крупных строительных объектах, таких как небоскребы, промышленные комплексы и инфраструктурные проекты. Это позволит планировать и реализовывать масштабные проекты с большей точностью и эффективностью. Использование VR на крупных объектах приведет к более точному расчету затрат и времени, а также к снижению рисков. Архитекторы, строители и заказчики могут вести обсуждения более продуктивно, опираясь на визуализированные модели, что улучшит понимание всех аспектов проекта, что значительно повысит удовлетворенность всех заинтересованных сторон.

### **Список использованных источников**

1. Калинин В.А., Путилова Е.А. Использование VR и AR технологий в сфере архитектуры, дизайна и строительства // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Молодёжь и наука», Нижний Тагил : Изд-во УрФУ, 2023. – С. 208–210.
2. Nanxuan Z. New possible applications of the augmented-reality in urban design // University of California, Los Angeles of California, USA. – 2019. – Vol. 16, № 267. – P. 316–319.
3. Bowen H. The Application and Prospect of Virtual Reality Technology in the Future Architecture Design // The University of Western Australia, Perth, Western Australia, Australia. – 2018. – Vol. 1, № 3. – P. 76–79.
4. Hala N., Awad S. H., Dharmaraj V., Wafik L. Augmented Reality in the Construction Industry: Use-Cases, Benefits, Obstacles, and Future Trends // Department of Civil Engineering, University of Kentucky, Lexington, KY, United States. – 2022. – Vol. 8, № 5. – P. 129–146.

## WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА

*Галикеева К.Р.<sup>1</sup>, Верхотуров М.А.<sup>2</sup>, Верхотурова Г.Н.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Уфимский университет науки и технологий, ПРО-430, e-mail: galikkeeva@gmail.com*

<sup>2</sup> *Уфимский университет науки и технологий, Институт информатики, математики и робототехники, профессор, e-mail: verhotur\_m@rambler.ru*

<sup>3</sup> *Уфимский университет науки и технологий, Институт информатики, математики и робототехники, доцент, e-mail: verhoturova.gn@yandex.ru*

### **Введение**

Физическое состояние человека, его здоровье и работоспособность в значительной степени зависят от характеристик окружающей среды. Продолжительное воздействие неблагоприятного микроклимата в помещении оказывает кумулятивное негативное действие на здоровье человека [1]. Страдают защитные силы организма, снижается иммунитет – возрастает риск заболеваемости вирусными и бактериальными инфекциями, заболеваниями воспалительного характера.

За счет систем динамического мониторинга факторов микроклимата помещения можно выявлять негативные характеристики и подстраивать под себя окружающее пространство, повышая тем самым эффективность работы и качество жизни. Специализированные датчики, объединенные в единую систему, позволяют получать данные о текущем состоянии микроклимата в реальном времени, а также анализировать эти данные для принятия обоснованных решений по оптимизации работы систем вентиляции, кондиционирования и увлажнения [2].

Особую важность имеет использование систем мониторинга микроклимата в объектах социальной инфраструктуры, таких как больницы, учреждения школьного/дошкольного образования, университеты, офисы, торговые центры и т.п., где необходимо поддерживать комфортные условия для большого количества людей. Также такие системы могут использоваться в жилых помещениях, где оптимальные условия важно поддерживать с целью сохранения здоровья и комфорта жильцов.

Проведенный анализ показал, что на рынке наблюдается дефицит программных продуктов, направленных на обычных пользователей, не имеющих специализированных знаний и навыков в области работы со сложными системами, и актуальной проблемой является создание системы, предназначенной для динамического отслеживания состояния микроклимата в помещении и информирования человека в случае достижения критических значений.

### **Мониторинг параметров микроклимата**

Микроклимат помещения – это климат внутренней среды конкретного помещения, который определяется различными характеристиками, действующими в совокупности на человека. К основным показателям относятся температура в помещении, относительная влажность воздуха и его насыщенность углекислым газом [3, 4].

Факторы, определяющие микроклимат, можно разделить на две основные группы: нерегулируемые и регулируемые.

К нерегулируемым факторам относятся:

– климатические условия: погодные условия, такие как температура и влажность на улице, которые могут влиять на микроклимат внутри помещения;

– расположение помещения: ориентация и наличие солнечных окон могут повлиять на прямое солнечное излучение и температуру в помещении.

К регулируемым факторам относятся:

– температура воздуха: обогрев и кондиционирование помещения, позволяющие поддерживать оптимальный температурный режим;

– влажность воздуха: увлажнители или осушители воздуха могут использоваться для регулирования влажности в помещении;

– циркуляция воздуха: установка вентиляторов или кондиционеров с регулируемой скоростью вентиляции помогает обеспечить оптимальную циркуляцию воздуха.

Во время пребывания людей в закрытых помещениях различного типа меняются химический состав и физические свойства воздуха: увеличивается количество углекислого газа, водяных паров,

тяжелых ионов, уменьшается содержание кислорода, легких ионов, повышаются температура, запыленность и бактериальная загрязненность, появляются органические примеси. Основными способами нормализации микроклимата в помещениях и в зонах рабочих мест являются системы отопления и вентиляции, устройства кондиционирования и увлажнения или осушения воздуха [5].

В данной работе рассматривается подход к повышению эффективности мониторинга микроклимата в помещении за счет разработки программного обеспечения, удовлетворяющего следующим функциональным требованиям:

- обработка полученных данных с помощью специальных алгоритмов для выявления аномалий и предупреждения о возможных проблемах с микроклиматом;
- визуализация текущего состояния микроклимата в помещении в привычной для человека форме и возможность генерации отчетов о его изменениях в течение времени;
- наличие системы оповещений, которая предупреждает пользователя о превышении определенных пороговых значений параметров микроклимата, что позволяет быстро принимать меры по исправлению ситуации;
- хранение и архивирование собранных данных для последующего анализа и оценки эффективности мер по улучшению микроклимата в помещении;
- мониторинг параметров микроклимата через мобильное приложение для удобства использования системы и удаленного контроля ситуации.

Разработанная система контроля микроклимата включает три основных блока: базу знаний, блок мотивации, блок рекомендаций.

База знаний содержит данные об областях комфорта, а также набор действий для повышения уровня комфорта в зависимости от негативных факторов [6].

Блок мотивации на основании показаний с датчиков температуры, влажности и концентрации углекислого газа определяет текущее состояние микроклимата. Уровень комфорта рассчитывается по формуле:

$$W = k_1 k_2 k_3 k_4 \quad (1)$$

где  $k_1$  – коэффициент теплового состояния человека, который изменяется от 1 (абсолютно комфортное состояние) до 0 (полное отсутствие комфорта) и может иметь положительное (при избытке теплоты) и отрицательное (при недостатке теплоты) значение;

$k_2$  – коэффициент, учитывающий влияние на комфортность микроклимата радиационного охлаждения;

$k_3$  – коэффициент, учитывающий влияние на комфортность микроклимата асимметрии теплового излучения;

$k_4$  – коэффициент, учитывающий соответствие качества воздуха нормам, установленным ГОСТ 30494-2011.

Каждому численному значению уровня комфортности соответствует субъективное ощущение комфорта у людей [7]. По результатам оценок, в случае выхода значений факторов микроклимата за установленные нормы или достижения негативной степени комфортности микроклимата, система уведомляет пользователя об этом непосредственно через интерфейс, а также отправляет сообщение на электронную почту. Если какие-то из показателей состояния микроклимата являются неудовлетворительными, система предлагает пользователю ряд мер, направленных на улучшение этих показателей.

Во избежание противоречивых рекомендаций в ситуациях, когда для урегулирования факторов микроклимата может потребоваться совершать противоположные/конфликтующие действия, в качестве основы блока рекомендаций выступает база знаний, которая содержит 24 правила.

Основой сформированной базы знаний является дерево решений для предоставления рекомендаций на основе анализа показателей состояния микроклимата помещения. Дерево решений используется в случае необходимости последовательного принятия решений и связывает между собой точки их принятия. Фрагмент дерева решений представлен на рис. 1.

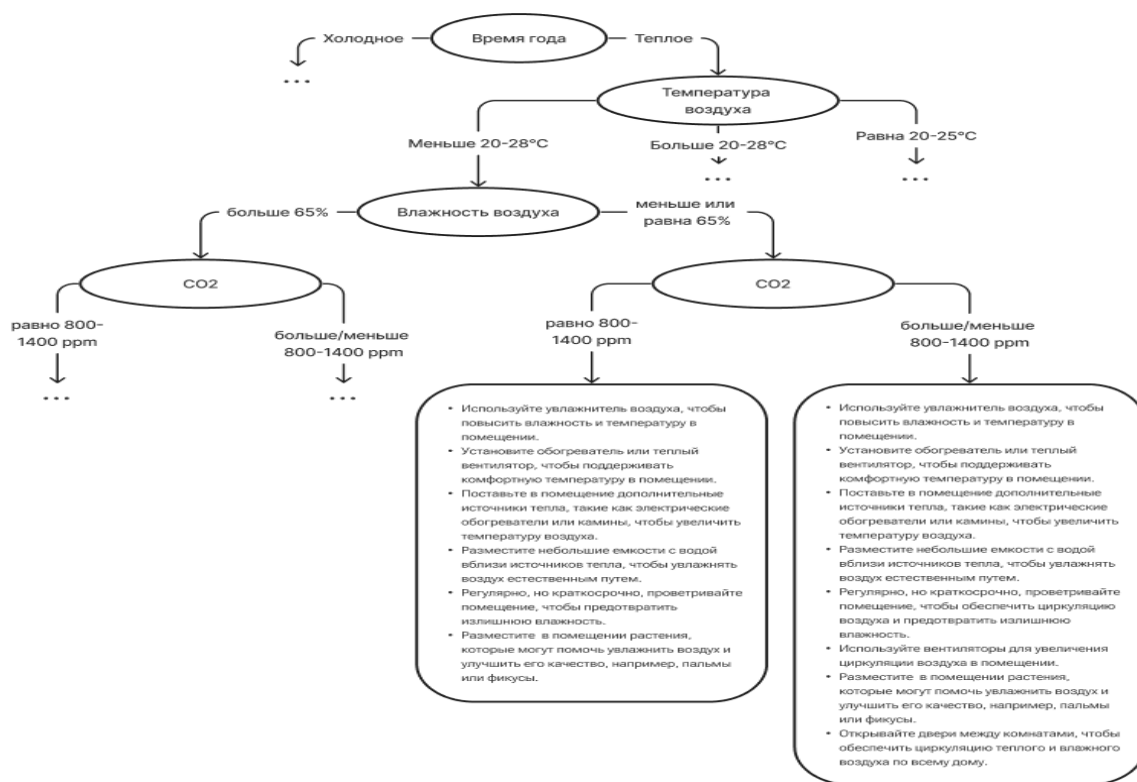


Рис. 1. Фрагмент дерева решений

Система контроля микроклимата реализована как web-приложение. Для реализации клиентской части программного продукта была выбрана библиотека JavaScript – React, которая предоставляет инструменты для создания пользовательских интерфейсов с использованием компонентной архитектуры. В качестве IDE для решения поставленной задачи был выбран Microsoft Visual Studio Code – текстовый редактор кода для кроссплатформенной разработки веб- и облачных приложений.

Для реализации серверной части программы и передачи данных был выбран JSON (англ. JavaScript Object Notation) – текстовый формат обмена данными, основанный на JavaScript, но независимый от него и предоставляющий возможность интеграции с любым языком программирования.

В качестве дополнительных библиотек использовались:

- React Material UI – библиотека компонентов React, основанная на Material Design от Google, для создания пользовательского интерфейса;
- Chart.js – библиотека JavaScript для создания диаграмм, имеющая необходимые инструменты для создания различных диаграмм и позволяющая задавать им необходимые настройки (цвета, стили, всплывающие подсказки диаграммы и т.п.).

В программе реализован вывод следующих данных:

- информация о текущем состоянии параметров микроклимата и степени комфорта помещения в текстовой и графической формах;
- история изменений параметров микроклимата и степени комфорта;
- отчет об изменениях параметров микроклимата в виде файла Excel;
- перечень возможных мер по улучшению микроклимата в помещении.

## Заключение

В представленной работе отражены функциональные требования, инструментальные средства и возможности разработанной системы мониторинга и визуализации параметров микроклимата помещений. Для проверки работоспособности и оценки качества программного обеспечения было проведено тестирование в нормальных и экстремальных условиях. В качестве набора данных для тестирования функции ввода персональных настроек в экстремальных условиях были использованы граничные максимальные и минимальные значения температуры, влажности и концентрации углекислого газа в воздухе.

### Список использованных источников

1. Августа Уильямс. Снижение когнитивных функций во время жары у жителей зданий без кондиционеров [Электронный ресурс]: статья в журнале /Августа Уильямс, Юсеф Ульхоте, Антонела Занобетти, Джозеф Г. Аллен, Джон Д. Спенглер. – Кембридж : Гарвардский университет, 2018 – 2 с. – URL:<https://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.1002605>.
2. Волков И.Е. Разработка системы мониторинга показателей микроклимата помещений [Электронный ресурс]: статья в журнале / И.Е. Волков, Э.А. Чельшев, М.В. Раскатова, Д.В. Шибитов – Инженерный вестник Дона, № 11 (2022) – 10 с. – URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n11y2022/8030>.
3. Митрофанова М.В. Влияние влажности воздуха в жилых помещениях на здоровье человека [Электронный ресурс]: статья в журнале / М.В. Митрофанова, Е.В. Синкевич. – Гродно : УО ГГМУ, 2021 – 15 с. – URL:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45691866>.
4. Губернский Ю.Д. Обоснование допустимого уровня содержания диоксида углерода в воздухе помещений жилых и общественных зданий [Электронный ресурс]: статья в журнале / Ю.Д. Губернский, Н.В. Калинина, Е.Б. Гапонова, И.М. Банин – Москва : НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина, 2014 – 5 с. – URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-dopustimogo-urovnya-soderzhaniya-dioksida-ugleroda-v-vozduhe-pomescheniy-zhilyh-i-obschestvennyh-zdaniy>.
5. Яковлев П.В. Влияние отопительных приборов на параметры микроклимата помещений [Электронный ресурс]: статья в журнале / П.В. Яковлев, Ю.А. Аляутдинова, Е.А. Горбанева – Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность, 2009 – 3 с. – URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-otopitelnyh-priborov-na-parametry-mikroklimata-pomescheniy>.
6. Бухмиров В.В. Оценка микроклимата в помещениях жилых, общественных и административных зданий [Электронный ресурс]: статья в журнале / В.В. Бухмиров, М.В. Пророкова. – Иваново : ИГЭУ, 2015 – 6 с. – URL:[http://vestnik.ispu.ru/sites/vestnik.ispu.ru/files/published/4-15\\_str\\_5-10.pdf](http://vestnik.ispu.ru/sites/vestnik.ispu.ru/files/published/4-15_str_5-10.pdf).
7. Сулин А.Б. Индексы теплового комфорта [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Б. Сулин, Т.В. Рябова, А.К. Рубцов, А.А. Никитин. – Санкт-Петербург : ИТМО, 2016 – 36 с. – URL:<https://books.ifmo.ru/file/pdf/1986.pdf>.



# ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ В СУХОМ БЛОКЕ ОХЛАДИТЕЛЯ ГИБРИДНОЙ ГРАДИРНИ

*Маясова А.О.<sup>1</sup>, Четырчинский Я.В.<sup>2</sup>, Мадьшев И.Н.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «КНИТУ», кафедра ОПП, младший научный сотрудник, e-mail: mayasovaaao@mail.ru

<sup>2</sup> НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ», кафедра МАХП, аспирант, e-mail: forwork-777-777@yandex.ru

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «КНИТУ», кафедра ОПП, старший научный сотрудник, e-mail: ilnyr\_91@mail.ru

## Введение

Градири широко используются в системах оборотного водоснабжения во многих отраслях промышленности благодаря своей способности обеспечивать низкотемпературную передачу тепла и высокую эффективность. При этом, активно продолжаются и не теряют своей актуальности исследования для решения проблем промышленного водопользования по повышению эффективности охлаждения, ресурсосбережению, интенсификации тепло- и массообменных процессов, совершенствованию конструкций градирен и оросителей [1, 2]. Так, например, мокрые градирни были модифицированы в гибридные системы с целью снижения потребности в подпиточной воде и уменьшения капельного уноса циркуляционной воды, что особенно актуально в засушливых районах с плохим водоснабжением. Использование влажной и сухой секций, в которой потоки охлаждаемой воды и воздуха прямо не контактируют, включенных в гибридную систему охлаждения, предусмотрено как отдельно, так и одновременно [3].

Достоинствами работы сухой секции в сравнении с работой классической мокрой является отсутствие роста микроорганизмов в воде и коррозии конструкционных материалов в виду отсутствия контакта циркулирующей воды с кислородом воздуха. Также стоит отметить, что с учетом сезонных изменений параметров окружающего воздуха, чтобы не допустить обледенения технологических элементов в зимнее время года используется в основном сухая секция гибридной градирни при невысоких тепловых нагрузках, которые гарантирует не замерзание теплоносителя [4].

Таким образом, потребность в улучшении характеристик теплопередачи сухой секции градирни становится все более острой. Одним из наиболее прямых путей повышения тепловой эффективности является увеличение площади контакта воздуха с теплоносителем. Также на характеристики теплоотдачи влияют равномерность и скорость воздушного потока.

Авторами разработана конструкция гибридной градирни, охладитель которой состоит из поперечных теплообменных труб (радиатора) и контактных элементов в виде гофрированных пластин, соединенных перпендикулярно относительно друг друга под углом 90°, образуя профиль зигзаг (рис. 1). Такая градирня имеет возможность эксплуатации с закрытым водяным контуром охлаждения, технологическая вода при этом поступает в радиатор с коридорным расположением труб в пучке, двигаясь снизу-вверх. Поверхность пучка труб омывает воздух, подаваемый перпендикулярно в нижнюю часть блока оросителя. Непосредственный контакт между воздухом и водой отсутствует, теплопередача происходит через стенку труб [5].

Для того чтобы проанализировать влияние гофрированных пластин, установленных внутри блока охладителя на интенсивность теплообмена в сухой секции гибридной градирни, авторами были определены задачи настоящей работы – проведение численных исследований по теплоотдаче при использовании сухой части гибридной градирни с наклонно-гофрированными пластинами и без них.

## Описание моделирования

Для оценки значений коэффициентов теплоотдачи от воздуха к стенке трубы радиатора были проведены численные исследования при помощи CFD-моделирования. Построена трехмерная модель блока охладителя, состоящая из 30 теплообменных гладкостенных труб, длиной 100 мм каждая. В качестве материала труб была принята медь. Размеры блока охладителя в поперечном сечении составляют 100x100 мм, высота 400 мм. Внутренний диаметр труб радиатора составлял 6 мм, наружный – 8 мм. Размеры исследуемых наклонно-гофрированных пластин представлены на рис. 2.

В ходе численных исследований изменялись средняя скорость жидкости в трубе радиатора в пределах 1 – 2,5 м/с, среднерасходная скорость воздуха (на полное сечение блока охладителя) в пределах 1 – 8,5 м/с. При этом температура воды на входе в трубчатый радиатор принималась равной 40 °С, а охлаждающего воздуха на входе в блок охладителя – 20 °С.

Таким образом, в результате численного моделирования получены средние значения коэффициентов теплоотдачи от каждой трубки, средняя величина плотности теплового потока, а также тепловой поток (Вт).

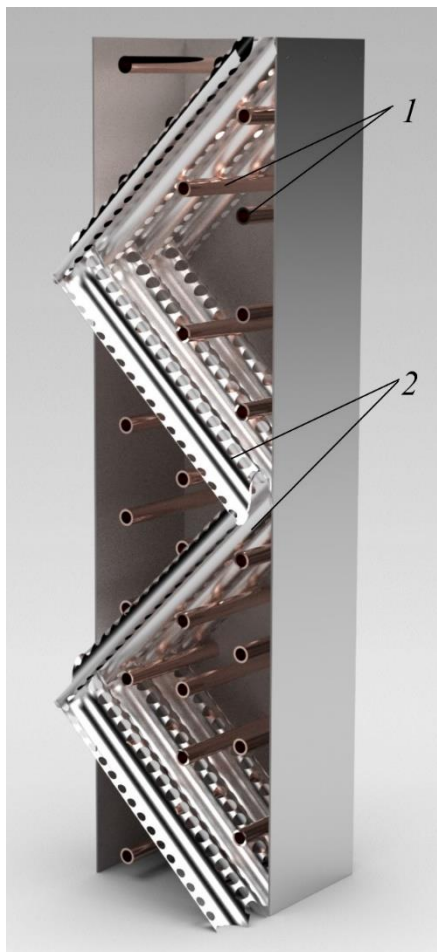


Рис. 1. Внешний вид сухого блока охладителя:  
1 – теплообменные трубы; 2 – гофрированные пластины

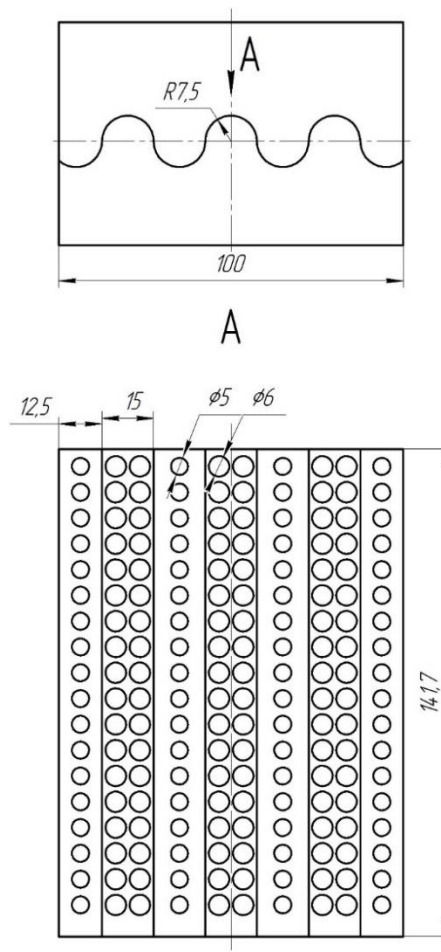


Рис. 2. Размеры наклонно-гофрированных пластин в блоке охладителя гибридной градирни

### Результаты и их обсуждение

Установка наклонно-гофрированных пластин приводит к изменению структуры потока набегающего воздуха, в частности, изменяется угол атаки потока воздуха, т.е. угол между направлением вектора скорости набегающего потока воздуха и осью трубы. Кроме того, происходит дополнительная турбулизация потока вследствие увеличения средней скорости набегающего потока из-за уменьшения площади сечения для прохода воздуха. При этом доля свободного сечения в проведенных численных исследованиях изменялась в диапазоне 85-92 %.

Сравнение результатов численных исследований по определению средних значений коэффициентов теплоотдачи в конструкции гибридной градирни с установленными наклонно-гофрированными пластинами показывает, что уменьшение доли свободного объема приводит к локальному повышению значений коэффициентов теплоотдачи (рис. 3). Так, в среднем величина коэффициента теплоотдачи возрастает на 5,43 %, а суммарный тепловой поток – на 5,06 %.

Стоит отметить, что в конструкции без использования гофрированных пластин угол атаки потока воздуха составляет  $90^\circ$ , что соответствует максимальному значению поправочного коэффициента  $\chi_\psi = 1$  [6].

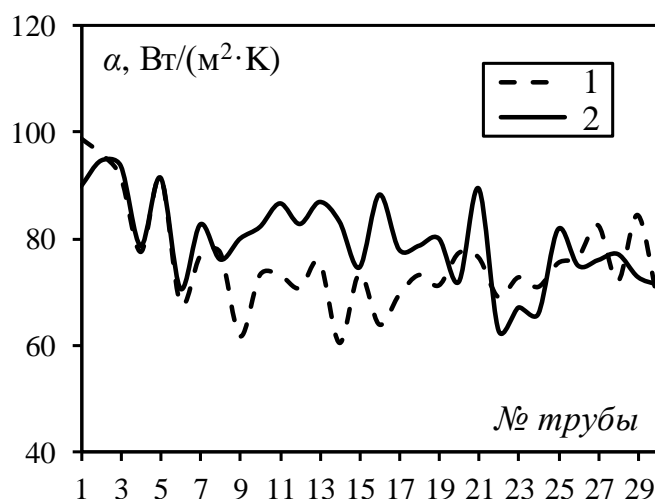


Рис. 3. Изменение средних значений коэффициентов теплоотдачи в зависимости от местоположения труб для различной конфигурации блока охладителя: 1 – без наклонно-гофрированных пластин; 2 – с наклонно-гофрированными пластинами. Средняя скорость течения воды в трубах радиатора 2 м/с, средняя скорость воздуха 4,5 м/с

### Заключение

Проведенные численные исследования теплоотдачи в разработанной конструкции гибридной градирни показывают, что величина среднего теплового потока с наклонно-гофрированными контактными элементами выше (в среднем на 5%) по сравнению с конструкцией без гофрированных пластин.

При эксплуатации гибридной градирни в условиях окружающей среды, приближающихся к отрицательным значениям температуры, для надежной работы установки в целом необходимо использование сухого блока с замкнутым контуром, т.к. градирни с открытым контуром циркуляции воды подвержены замерзанию из-за присущего им характера работы, испарительного охлаждения воды.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-01034, <https://rscf.ru/project/23-79-01034/>.

### Список использованных источников

1. Мадышев И.Н. Определение гидравлического сопротивления и объемных коэффициентов тепло- и массоотдачи при охлаждении оборотной воды в многоступенчатой вихревой камере / И.Н. Мадышев, О.С. Дмитриева, В.В. Харьков, А.О. Маясова // Теплоэнергетика. – 2022. – № 12. – С. 64–72.
2. Мадышев И.Н. Расширение диапазона устойчивой и эффективной работы теплообменных аппаратов со струйно-пленочными контактными устройствами / И.Н. Мадышев, В.В. Харьков, А.О. Маясова, А.В. Дмитриев // Вестник технологического университета. – 2020. – Т. 23. – № 12. – С. 118–121.
3. Мадышев И.Н. Оценка тепловой мощности и эффективности теплообмена в гибридной градирне с поперечным оребрением труб / И.Н. Мадышев, О.С. Дмитриева, А.О. Маясова // Вестник Технологического университета. – 2023. – Т. 26. – № 12. – С. 129–134.
4. Madyshev I.N. Cooling efficiency of hybrid cooling tower with finned tube radiator / I.N. Madyshev, V.V. Kharkov, A.O. Mayasova, R.M. Kurbangaliev // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 458. – P. 01003.
5. Маясова А.О. К оценке тепловой эффективности градирни гибридного типа / А.О. Маясова, И.Н. Мадышев, В.В. Харьков // Тезисы докладов XIX Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования». – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский горный университет, 2023. – С. 124-126.
6. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М. : Энергия, 1977. – 344 с.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

*Ласточкин П.В.<sup>1</sup>, Кожевников А.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Новосибирский государственный технический университет, кафедра прочности летательных аппаратов, аспирант, e-mail: l.pasha.v@gmail.com*

<sup>2</sup> *Новосибирский государственный технический университет, кафедра прочности летательных аппаратов, к.т.н., доцент, e-mail: kozhevnikov.2010@corp.nstu.ru*

## **Введение**

Оценка остаточного ресурса эксплуатируемых конструкций является важной задачей при планировании и реализации ремонтно-восстановительных мероприятий. В настоящее время в электроэнергетике широко распространен регламентированный по времени подход к организации как осмотров, так и ремонтных мероприятий [1]. Среди недостатков такого способа выделяют одинаковые временные и трудозатраты как для новых конструкций, так и у сооружений вблизи предельного срока службы. Такой подход может приводить к значительным перерасходам ресурсов обслуживающих организаций и соответствующих технических служб. Постепенный переход к полноценному инструментальному обследованию конструкций электроэнергетического комплекса по необходимости, а не по регламентированному интервалу (как правило не реже одного раза в шесть лет) требует организации системы периодического мониторинга объектов исследования. В связи с этим задача выявления фактического технического состояния и его прогнозирования является востребованной и перспективной для различных конструкций, и опор воздушных линий электропередачи в частности [2–4].

Цель исследования заключалась в разработке автоматизированного подхода для прогнозирования технического состояния конструкций опор воздушных линий электропередачи и их фундаментов в зависимости от срока жизни конструкции и ее фактического технического состояния.

В качестве объекта исследования в работе были рассмотрены решетчатые металлические опоры башенного типа марки П110-3 воздушной линии электропередачи с различными сроками эксплуатации и предполагаемыми типами предельных состояний.

## **Основная часть**

В рамках работы предварительно были исследованы следующие варианты предельных состояний: а) ослабление закрепления; б) отсутствие силового элемента; в) общая потеря сечения по всей конструкции.

Другие возможные виды предельных состояний представляются маловероятными или не представляются настолько критически значимыми, чтобы приводить к потере несущей способности всей конструкции промежуточной опоры воздушной линии электропередачи.

Ослабление закрепления характеризуется снижением жесткости опорного узла или ухудшением связи между бетонным фундаментом и окружающим грунтом. Данному типу предельного состояния у реальной конструкции могут соответствовать типовые повреждения:

1. Ослабление связи между опорой и ее подпятником. Характеризуется нарушением качества соединения между поясными уголками решетчатой или сварной конструкции с опорными элементами.

2. Ослабление соединения между подпятником и фундаментом. Может быть зафиксировано при раскручивании гаек на вмонтированном в фундамент анкерном соединении, а также в случае, если произошло коррозионное поражение самого подпятника.

3. Ухудшение общего состояния фундамента. Характеризуется частичным или полным разрушением конструкции бетонного основания или его отдельных элементов. Может быть выявлено в огромном количестве комбинаций отдельных повреждений.

4. Изменение свойств окружающего грунта в силу поступления воды или другого фактора. Сложно прогнозируемый процесс: может являться следствием изменения уровня грунтовых вод, привнесения в грунт растворенных элементов, которые помимо понижения прочностных свойств влияют и на рост коррозионных процессов в бетонных основаниях.

Среди всех выбранных предельных состояний отсутствие отдельного силового элемента или их ряда обладает наиболее ярко выраженным проявлением и может быть определено без проведения специального инструментального контроля: визуальный контроль технического состояния уверенно

справляется с этой задачей. Сложность представляет только ослабление болтовых связей с обоих концов одного элемента, когда он остается без достаточной фиксации к поясным уголкам, но еще физически сохраняет прежнее установочное положение.

При рассмотрении этого предельного состояния возможна ситуация, когда утрачен не силовой, а вспомогательный элемент. Например, отдельный изолятор, контргайка или что-то подобное с небольшой массой и слабым вкладом в жесткость. Подобные элементы дают слишком малый вклад в общее поведение конструкции, поэтому не являются объектом текущего исследования.

Общее коррозионное повреждение всех элементов характерно для любого типа выбранных конструкций, поскольку коррозионные процессы протекают во всех видах материалов, которые рассматриваются в работе (сталь и железобетон). Постоянное негативное воздействие окружающей среды приводит к постепенному снижению геометрических характеристик всех элементов конструкции. В зависимости от условий выделяют атмосферную коррозию (вся конструкция, но малые темпы) и очаговую коррозию (разные площади в зависимости от размеров очага, но более высокие темпы в силу широкого спектра причин).

Такой тип повреждений проявляется достаточно неоднозначно при функционировании конструкций, поэтому стоит моделировать его в двух вариантах: точечный дефект и одновременное ослабление всех силовых элементов конструкции.

Таким образом, выполненный анализ предельных состояний рассматриваемых конструкций позволил выявить такие повреждения, которые потенциально способны привести всю конструкцию промежуточной опоры воздушных линий электропередачи к предельному техническому состоянию.

На основе проведенного анализа предельных состояний в рамках проведения работы была предложена методика оценки технического состояния опор, включающая следующие последовательные этапы:

1. Расчетное определение уровней частот собственных колебаний опор в исправном техническом состоянии. При моделировании возможно учесть типовые повреждения, характерные для данного типа конструкций. Исследования влияния дефектов на спектры колебаний облегчает идентификацию повреждений на третьем этапе методики.

2. Экспериментальное обследование опор воздушных линий электропередачи. Визуальным способом исключаются очевидные повреждения (отсутствие отдельных элементов, излишний наклон опоры). Само определение частот собственных колебаний конструкции занимает, как правило, не более пятнадцати минут.

3. Анализ расчетных и экспериментальных результатов с целью распределения обследованных конструкций на группы технического состояния: исправные, работоспособные и ограниченно-работоспособные. Критерием попадания в каждую из групп является снижение значений частот собственных колебаний на фиксированный уровень между двумя соседними осмотрами. Пороговые значения могут назначаться на основании опыта, научных изысканий или других заданных требований эксплуатирующей организации.

## **Заключение**

Таким образом, проведенное исследование зависимости спектра собственных колебаний частот опор от срока их эксплуатации с применением методов дискретного численного моделирования позволило сформулировать методику оценки технического состояния конструкций опор воздушных линий электропередачи. Практическая значимость работы заключается в том, что ее результаты могут быть использованы для более эффективного прогнозирования ремонтно-восстановительных мероприятий для каждой отдельной опоры воздушных линий электропередачи.

## **Список использованных источников**

1. Чернов О.И. Современное состояние электрических сетей России и перспективы развития / О.И. Чернов, Е.А. Елисева // *Academy*. – 2021. – № 7 (70). – С. 20–22.
2. Истратова Е.Е. Разработка программного обеспечения для мониторинга динамических характеристик пространственных решетчатых конструкций / Е.Е. Истратова, А.Н. Кожевников, П.В. Ласточкин и др. // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2023. – Т. 11, № 11. – С. 45–52.
3. Соленая О.Я. Характеристики и параметры технического состояния воздушных линий электропередачи / О.Я. Соленая, А.В. Рысин, С.В. Солёный и др. // *Приборостроение*. – 2021. – № 7. – С. 583–588.
4. Утеулиев Б.А. Ресурс опор воздушных линий электропередачи / Б.А. Утеулиев, А.Г. Тарасов // *Системы анализа и обработки данных*. – 2015. – № 2 (59). – С. 89–97.

# К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 10 КВ

Питерский Н.С.

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, студент, e-mail: 9pitpit9@gmail.com

## Введение

В настоящее время проектирование распределительной сети является сложной технико-экономической задачей, на которую накладываются множество ограничений, начиная от географических реалий, заканчивая ограничениями, связанными с исполнением нормативно-правовых актов [1]. В связи с этим, актуальной задачей является уточнение и дополнение возможных методик, касающихся проектирования электрической сети с целью достижения оптимального результата как с точки зрения минимизации затрат, так и надежности сети в целом.

## Основная часть

В рамках данной работы предлагается рассмотреть один из возможных подходов к сооружению распределительной электрической сети с рабочим напряжением 10 кВ, выбрав при этом оптимальную схему электроснабжения района (рис. 1), с учетом минимизации стоимости линии (ее протяженности).

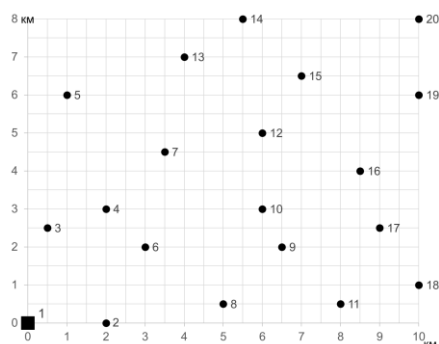


Рис. 1. Расположение ПС и узлов нагрузки

На рис. 1 показано расположение питающей подстанции и узлов нагрузки. Питающая подстанция обозначена квадратом, узлы нагрузки точками. Шаг координатной сетки по вертикали и горизонтали составляет 500 метров. Для обеспечения электроснабжения потребителей все узлы нагрузки должны быть присоединены к питающей подстанции.

Так как проектируемая сеть по сути своей является графом, можно воспользоваться различными алгоритмами поиска, позволяющими найти кратчайший путь между всеми узлами графа. Применим алгоритмом Дейкстры [2], способный составить минимальное остовное дерево в неориентированном связном взвешенном графе – графе, имеющим минимальный возможный вес, где под весом понимается сумма весов, входящих в него длин рёбер (ЛЭП). Графическая интерпретация данного алгоритма отображена на рис. 2.

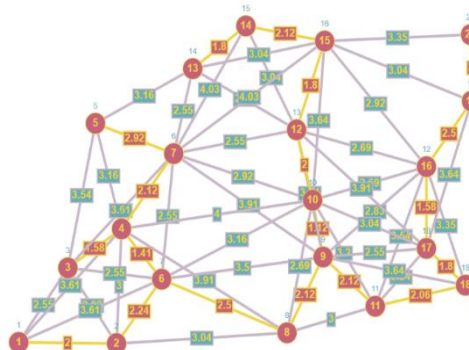


Рис. 2. Графическая интерпретация алгоритма Дейкстры

Данная компоновка сети может быть использована для «нулевой» итерации построения распределительной сети, что существенным образом поможет проектировщику сократить трудозатраты. Однако, далее уже необходимо проектировать сеть исходя из ее надежности, требований нормативной документации, требований к длительно допустимым токам в ЛЭП и величины напряжения в узлах нагрузки. В результате «нулевая итерация» претерпит существенные изменения. На рис. 3 зеленым цветом выделена «нуль итерация», а красным цветом возможные пути модернизации сети. Отметим, что при выборе уже трех комбинаций из десяти для возможного построения схемы, оператору необходимо перебрать около 120 вариантов, отталкиваясь от «нуль итерации». Очевидно, возможных комбинаций строительства огромное количество и перебрать их всех вручную не представляется возможным, для этого необходимо применять специальные алгоритмы.

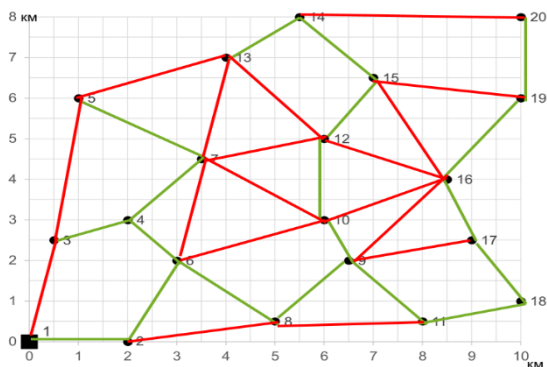


Рис. 3. Варианты модернизации сети

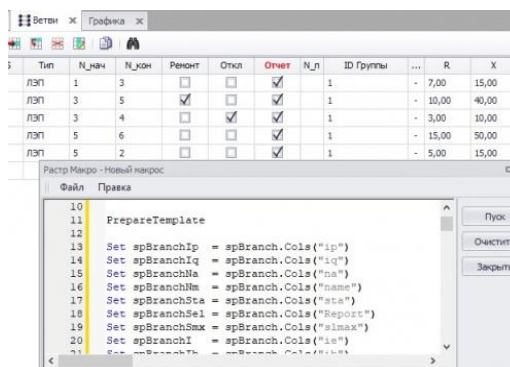


Рис. 4. Макрос вариативных расчетов в RastrWin3

Автор предлагает генерировать схемы программно, и уже далее проверять каждую схему по режимным параметрам. Для расчёта режима может быть использован макрос вариативных расчётов в программе *RastrWin3*, позволяющий за минимальное количество времени автоматически перебирать все варианты отключений в заданной алгоритмом схеме для различных вариаций отключений ( $n-1$ ,  $n-2$  и т.д.). Генерация схем будет осуществляться методом полного перебора, путем добавления в матрицу длин ветвей графа новых элементов. В свою очередь новые элементы будут формироваться из красных ветвей (рис. 3) путем полного перебора всех красных ветвей, исходя из числа сочетаний  $C_n^k$ , где  $k \in [1..n]$ . Итерации будут производиться начиная с одной линии ( $k = 1$ ) до тех пор, пока при минимальном значении  $k$  токовая нагрузка линий и уровни напряжения в узлах нагрузки, рассчитанные макросом, не будут лежать в допустимых пределах (рис. 5).

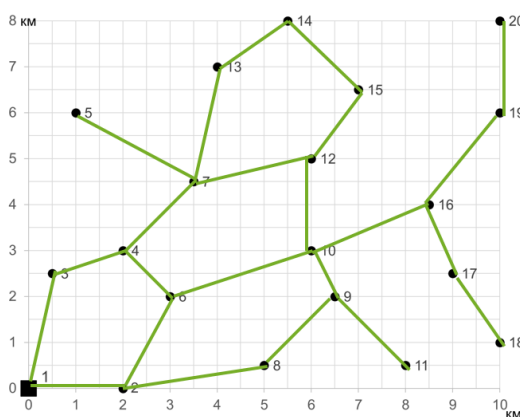


Рис. 5. Итоговая схема распределительной сети

## Заключение

Таким образом в данной работе был рассмотрен один из возможных вариантов проектирования распределительной сети с применением алгоритма Дейкстры для построения первичной схемы сети –

«нуль итерации», с последующим уточнением данной схемы. Уточнение производилось методом полного перебора с использованием макроса вариативных расчётов, исходная компоновка схем для которого генерировалась на основе алгоритма полного перебора, базировавшегося на переборе числа сочетаний, возможных к построению линий, заданных проектировщиком.

#### **Список использованных источников**

1. Устинов А.С. Проектирование электрических сетей до 10 кВ // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – № 12-2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-elektricheskikh-setey-do-10-kv> (дата обращения: 28.09.2024).

2. Лебедев С.С., Новиков Ф.А. Необходимое и достаточное условие применимости алгоритма Дейкстры // КИО. – 2017. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neobhodimoe-i-dostatocnoe-uslovie-primenimosti-algoritma-deykstry> (дата обращения: 28.09.2024).



# ИССЛЕДОВАНИЯ СИНХРОНИЗАЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ В ИЗОЛИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ НА БАЗЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SIMINTECH

Захаров В.О.<sup>1</sup>, Солопов Р.В.<sup>2</sup>, Усанов А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, группа: ИТЭС-23 (маг.), e-mail: vitaliy.zakharov.303@mail.ru

<sup>2</sup> Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, доцент, заведующий кафедрой ЭЭС, e-mail: solopov.rv@mail.ru

<sup>3</sup> Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, ассистент, e-mail: andyusanov@gmail.com

## Введение

Изучение и анализ пуска генераторов на параллельную работу в электроэнергетических системах требуется для обеспечения устойчивой работы. Особенно остро данный вопрос стоит в изолированных электроэнергетических системах промышленных производств в нефтегазовой отрасли. Последствием неправильного включения генератора в сеть приводит к снижению напряжения на шинах электростанции и резкими бросками тока в цепи генератора вследствие чего может произойти обесточивание шин электростанции или повреждение коммутационной аппаратуры и самого генератора [1].

Целью данной работы является изучению переходных процессов включения генераторов соизмеримой мощности на параллельную работу в изолированной системой и проверки достаточности технических требований для синхронизации их работы.

Для проведения исследования разработана модель изолированной системы в среде динамического моделирования технических систем SimInTech.

## Описание модели

Рассмотрим изолированную систему на базе двух генераторов Т-12-2У3 и ТВС-32У3 параметры, которых приведены в таблице 1 и 2 [2]. Для анализа синхронизации обоих генераторов была разработана его имитационная модель, которая приведена на рис. 1.

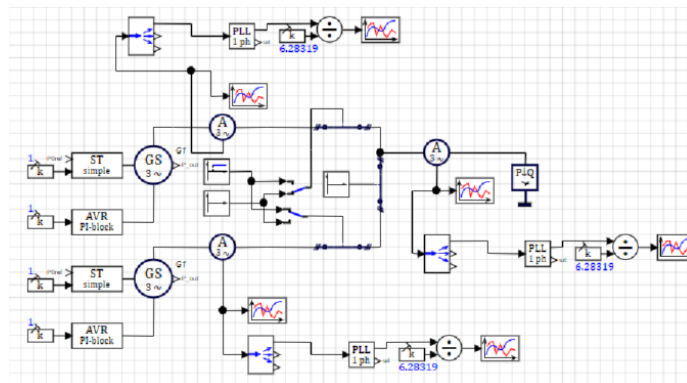


Рис. 1. Схема модели изолированной сети в ПК SimInTech

Таблица 1

Параметры генераторов

Тип	Номинальная частота вращения об/мин	P, МВт	U <sub>ном</sub> , кВ	cosφ <sub>ном</sub>	U <sub>fном</sub> , В	I <sub>fx</sub> , А	I <sub>fном</sub> , А
Т-12-2У3	3000	12	10,5	0,8	232	100,3	245
ТВС-32У3	3000	32	10,5	0,8	219	634	492

Таблица 2

Сопротивление и постоянные времени генераторов

Тип	x <sub>d''</sub> , о. е.	x <sub>d'</sub> , о. е.	x <sub>d</sub> , о. е.	x <sub>2</sub> , о. е.	x <sub>0</sub> , о. е.	T <sub>d0</sub> , с	T <sub>d</sub> <sup>(3)</sup> , с
Т-12-2У3	0,131	0,2	2,07	0,16	0,07165	7,9	0,76
ТВС-32У3	0,153	0,26	2,648	0,187	0,074	10,4	1,01

Для моделирования сети используем библиотеку «ЭЦ-Динамика» в качестве модели генератора используем блок «Генератор синхронный 3-фазный», параметры которого были предварительно заполнены и протестированы. В данной работе напряжение на генераторе поддерживается равной уставке, то есть генератор работает с астатическим регулированием напряжения. В качестве системы возбуждения выбираем блок «Система возбуждения (type simple model using PI-block)» и модель паровой турбины «Турбина паровая (type simple model)». В блоке системы возбуждения выставили уставку по напряжению 1 и также предварительно заполнили все необходимые данные. Также предварительно были заданы параметры нагрузки в соответствии с номинальным напряжением и мощностью турбогенератора Т-12-2У3.

Исследование синхронизации генераторов в изолированной системы проводилось для двух случаях: первый в работе находится генератор Г2 и в определенный момент времени пускаем Г1, и второй вариант в работе находится генератор Г1 и в определенный момент времени пускаем Г2.

Для включения на параллельную работу учитывались максимально допустимые отклонение параметров при синхронизации согласно инструкции по эксплуатации генераторов и стандарту IEEE 1547-2005, значения, которые приведены в таблице 3 [3].

Таблица 3

*Пределы синхронизации согласно стандарту IEEE 1547*

Суммарная мощность, кВА	Отклонение по частоте, Гц	Отклонение по напряжению, %	Отклонение по углу, градус
Менее 500	0,3	10	20
От 500 до 1500	0,2	5	15
Более 1500	0,1	3	10

Рассмотрим первую ситуацию рис.2 в работе находится генератор Г2, в момент времени с 0 до 5 сек происходит начало моделирование пуск Г2, с 5 до 10 сек установившийся режим сохраняется баланс активной мощности напряжение на выводе генератора 10,559 кВ, выдаваемая активная мощность 12,176 МВт. В момент времени 10 сек происходит запуск генератора Г1 и до 14 сек происходит синхронизация Г1 и Г2 между собой, после 14 сек показан процесс моделирование после синхронизации.

На рис. 3 представлена осциллограмма процессов изменения параметров при пуске Г1. Как видно в начальный момент времени происходит провал напряжения  $\Delta U_{G2} = 0,233$  кВ,  $\Delta U_{G1} = 0,207$  кВ, затем напряжение постепенно повышается и после 14 с возвращается в исходное положение  $U_{G1-2} = 10,554$  кВ. Частота в свою очередь повышается до 51,08 Гц, затем после синхронизации генераторов становится равной 50,14 Гц. Активная и реактивная мощность после пуска Г1 перераспределяется между обоими генераторами с 10 до 10,8 с, затем после синхронизации Г1 и Г2 происходит их совместная параллельная и синхронная работа на общую нагрузку: Г1 отдает в сеть 2,064 МВт, а Г2 соответственно 10,119 МВт.

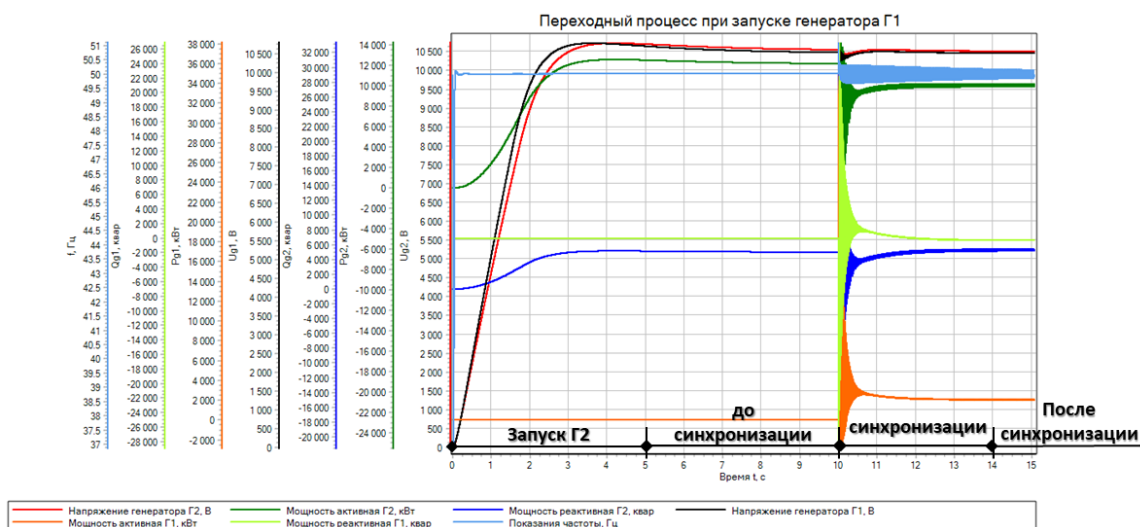


Рис. 2. Переходный процесс: в работе генератор Г2, ввод в работу Г1, синхронизации Г1 и Г2

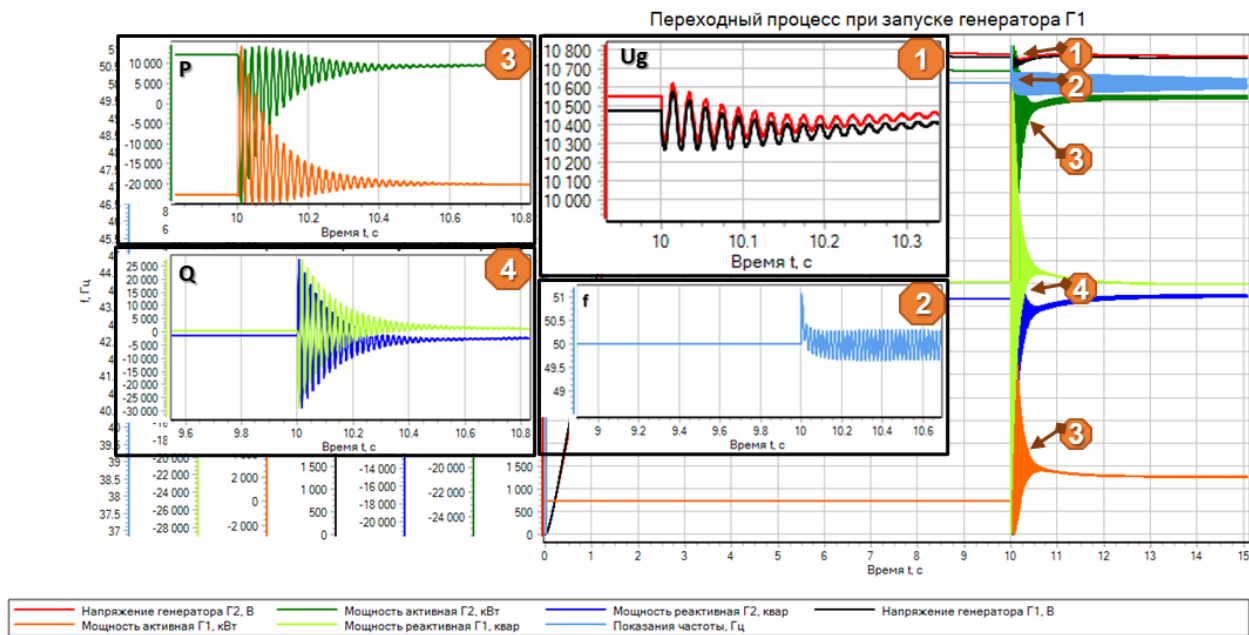


Рис. 3. Осциллограмма процесса пуска Г1 в момент времени 10 с

Рассмотрим первую ситуацию рис.2 в работе находиться генератор Г2, в момент времени с 0 до 5 сек происходит начало моделирование пуск Г2, с 5 до 10 сек установившийся режим сохраняется баланс активной мощности напряжение на выводе генератора 10,559 кВ, выдаваемая активная мощность 12,176 МВт. В момент времени 10 сек происходит запуск генератора Г1 и до 14 сек происходит синхронизация Г1 и Г2 между собой, после 14 сек показан процесс моделирование после синхронизации.

На рис. 3 представлена осциллограмма процессов изменения параметров при пуске Г1. Как видно в начальный момент времени происходит провал напряжения  $\Delta U_{G2} = 0,233$  кВ,  $\Delta U_{G1} = 0,207$  кВ, затем напряжение постепенно повышается и после 14 с возвращается в исходное положение  $U_{G1-2} = 10,554$  кВ. Частота в свою очередь повышается до 51,08 Гц, затем после синхронизации генераторов становится равной 50,14 Гц. Активная и реактивная мощность после пуска Г1 перераспределяется между обоими генераторами с 10 до 10,8 с, затем после синхронизации Г1 и Г2 происходит их совместная параллельная и синхронная работа на общую нагрузку: Г1 отдает в сеть 2,064 МВт, а Г2 соответственно 10,119 МВт.

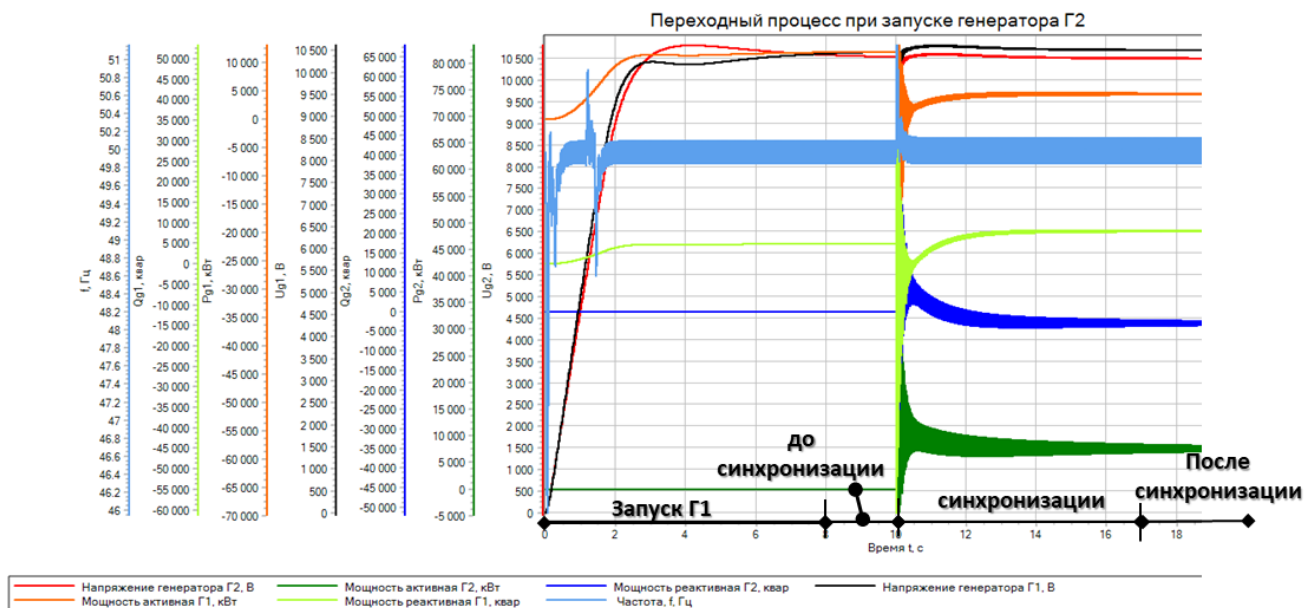
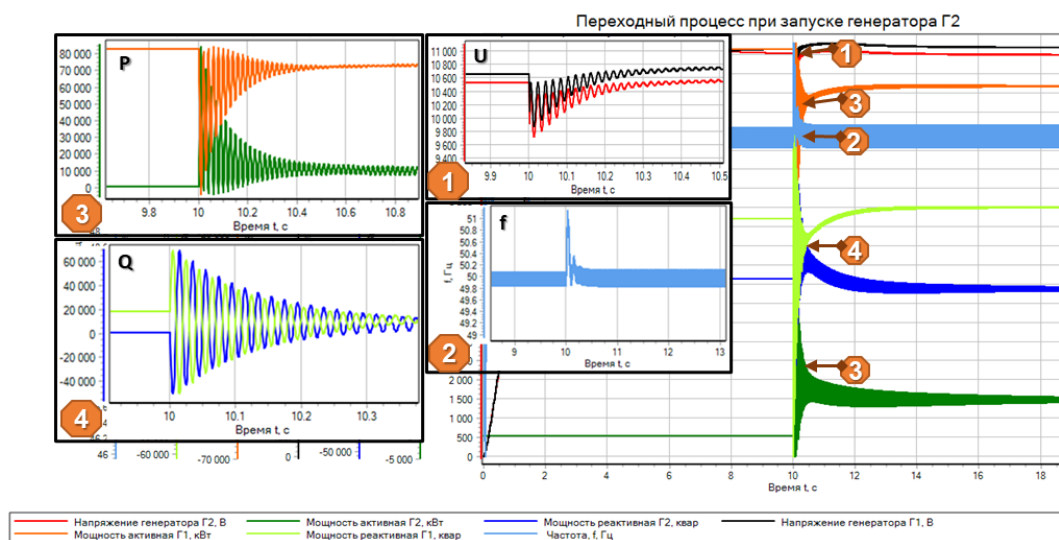


Рис. 4. Переходный процесс: в работе генератор Г1, ввод в работу Г2, синхронизации Г1 и Г2



*Рис. 5. Осциллограмма процесса пуска Г2 в момент времени 10 с*

Рассмотрим вторую ситуацию рис. 4 в работе находиться генератор Г1, в момент времени с 0 до 8 сек происходит начало моделирование пуск Г1, с 8 до 10 сек установившийся режим сохраняется баланс активной мощности напряжение на выводе генератора 10,463 кВ, выдаваемая активная мощность 11,952 МВт. В момент времени 10 сек происходит запуск генератора Г2 и до 16 сек происходит синхронизация Г1 и Г2 между собой, после 16 сек показан процесс моделирование после синхронизации.

На рис. 5 представлена осциллограмма процессов изменения параметров при пуске Г2. Как видно в начальный момент времени происходит провал напряжения  $\Delta U_{G2} = 0,613$  кВ,  $\Delta U_{G1} = 0,548$  кВ, затем напряжение постепенно повышается и после 17 с возвращается в исходное положение  $U_{G1-2} = 10,473$  кВ. Частота в свою очередь повышается до 51,08 Гц, затем после синхронизации генераторов становится равной 50,15 Гц. Активная и реактивная мощность после пуска Г2 перераспределяется между обоими генераторами с 10 до 10,8 с, затем после синхронизации Г1 и Г2 происходит их совместная параллельная и синхронная работа на общую нагрузку: Г1 отдает в сеть 4,539 МВт, а Г2 соответственно 7,717 МВт.

### Заключение

Анализ полученных результатов показывает, что в изолированной системой синхронизация генераторов является тяжелым режимом с точки зрения устойчивости системы, при включение генераторов соизмеримой мощности в изолированной системы происходит снижение качества электрической энергии частота 2,21 % от фном и напряжение 7,1 % от Уном, наблюдаться значительные колебание активной мощности равный скачку мощности на генераторе, а следовательно существует вероятность нарушение устойчивости изолированной системы и выхода генератора из синхронизма. Поэтому в изолированных системах целесообразно использовать более жесткие технические требования к синхронизации генераторов, например можно использовать стандарты международной некоммерческой ассоциации Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): IEEE Standard C50.12-2005 и IEEE Standard C50.13-2014 [4, 5].

### Список использованных источников

1. Хачатуров А.А. Несинхронные включения и ресинхронизация в энергосистемах. – М. : Энергия, 1977. – 176 с.
2. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб.пос. для вузов. – М. : Энергоатомиздат, 1989.
3. IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources With Electric Power Systems // IEEE 1547-2005. – 28 p.
4. IEEE Standard for Silent-Pole 50 Hz and 60 Hz Synchronous Generators and Generator/Motors for Hydraulic Turbine Applications Rated 5 MVA and above // IEEE Standard C50.12-2005. – 45. – P. 16.
5. IEEE Standard for Cylindrical-Rotor 50 Hz and 60 Hz Synchronous Generators Rated 10 MVA and Above // IEEE Standard C50.13-2014. – 63. – P. 17.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMINTECH

*Захаров В.О.<sup>1</sup>, Мартынов А.О.<sup>2</sup>, Андреевков Е.С.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, группа: ИТЭС-23 (маг.), e-mail: vitaliy.zakharov.303@mail.ru*

<sup>2</sup> *Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, группа: ИТЭС-23 (маг.), e-mail: martinov.aleksandr.2812@gmail.com*

<sup>3</sup> *Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, доцент, e-mail: root67@mail.ru*

### Введение

В настоящее время вопрос обеспечения качества электроэнергии (КЭ) в системах электроснабжения нефтедобывающей отрасли становится актуальным из-за активного роста нелинейной нагрузки (НН), представленной системами частотно-регулируемого электропривода, насосами и вентиляторными установками.

Из-за широкого использования систем регулируемого электропривода происходит ухудшение КЭ вследствие искажения формы токов и напряжений. Влияние высших гармонических составляющих (ВГС) приводит к ряду негативных последствий: нагрев (выводит из строя элементы оборудования); ложное срабатывание релейной защиты и автоматики; преждевременное старение электрических аппаратов, их частей и элементов; повышение потерь в электрических машинах [1].

Целью данной работы является изучению эффекта снижения уровня высших гармонических составляющих для различных вариантов построения фильтра компенсирующих устройств. Для моделирования фильтров использовался российский программный комплекс SimInTech.

### Существующие технические решения

В настоящее время одним из самых распространённых способов уменьшения уровня ВГС является использование фильтр компенсирующих устройств (ФКУ), которые обладают как положительными, так и отрицательными сторонами. Как правило в системах электроснабжения, используют узкополосный фильтр, настроенный на определенную частоту. В состав активного ФКУ входит: выходной дроссель или трансформатор, инверторы, накопительные элементы, система автоматического управления. Следует также уделить внимание на широко распространяющие гибридные фильтрокомпенсирующие устройства (ГФУ), сочетающие в себе все сильные стороны вышеперечисленных устройств. Данное оборудование обладает гибкой структурой и широким набором функций для повышения КЭ, что делает его одним из потенциальных решений существующей проблемы

ГФУ строятся из комбинации активных фильтров (АФ) и пассивных фильтров (ПФ), имеющих различные способы подключения к компенсируемой сети [2]. В зависимости от требуемой задачи компенсации высших гармонических составляющих (ВГС) в системе электроснабжения ГФУ может быть выполнена:

- на компенсацию ВГС с помощью управляемого источника тока за счет применение параллельных активных фильтров (ПАФ);
- на компенсацию ВГС напряжения с помощью источника напряжения за счет применение последовательных активных фильтров (ПСАФ).

### Описание модели

Проанализируем эффект снижения уровня ВГС для 3 предложенных вариантов ФКУ. Для моделирования фильтров используем российский программный комплекс SimInTech. Разработанная имитационная модель без установки пассивных фильтров приведена на рис. 1 а). Нелинейная нагрузка представлена в виде источника тока с блоком формирования синусоидального выходного сигнала. По результатам моделирования были получены осциллограмма и спектрограмма тока, представлены на рис. 4.

В качестве ПФ в среде SimInTech выбираем из библиотеки блоков ЭЦ-Динамика блок «Фильтрокомпенсирующее устройство 3-фазное». На рисунке 1 б) приведена имитационная модель с установкой двух ПФ, настроенного на подавление 5 и 7 ВГС. По результатам моделирования ПФ, получены осциллограммы и спектрограммы напряжения, и тока, представленные на рис. 5.



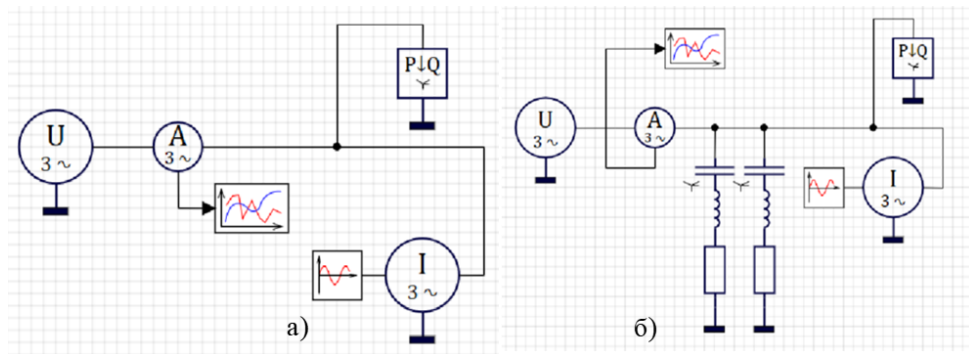


Рис. 1. Модель сети 0,4 кВ:  
 а) без ФКУ; б) первый вариант ФКУ: два ПФ для подавления 5 и 7

Модель устройства ПАФ включает в себя несколько (шесть) стандартных блоков IGBT-транзисторов, катушки индуктивности фильтрующего дросселя  $L$  на выходе устройства фильтрации высших гармоник и одного накопительного конденсатора со стороны постоянного тока и системы управления. На рис. 2 представлена сама имитационная модель сети с установкой ПАФ, к выводам которого подключен дроссель. Параметры сети и нелинейной нагрузки приняты такими же, как и в случае с установкой ПФ. В качестве алгоритма управления ПАФ принят метод определения опорного тока с фазовыми преобразованиями.

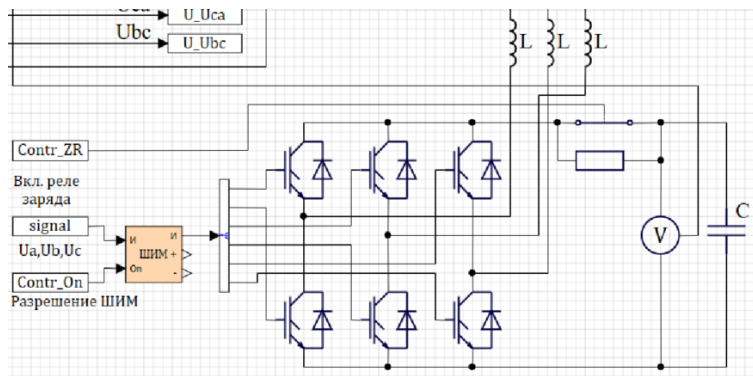


Рис. 2. Модель второго варианта ФКУ (ПАФ)

По результатам моделирования ПАФ, получены осциллограммы и спектрограммы напряжения, и тока, представленные на рис. 6.

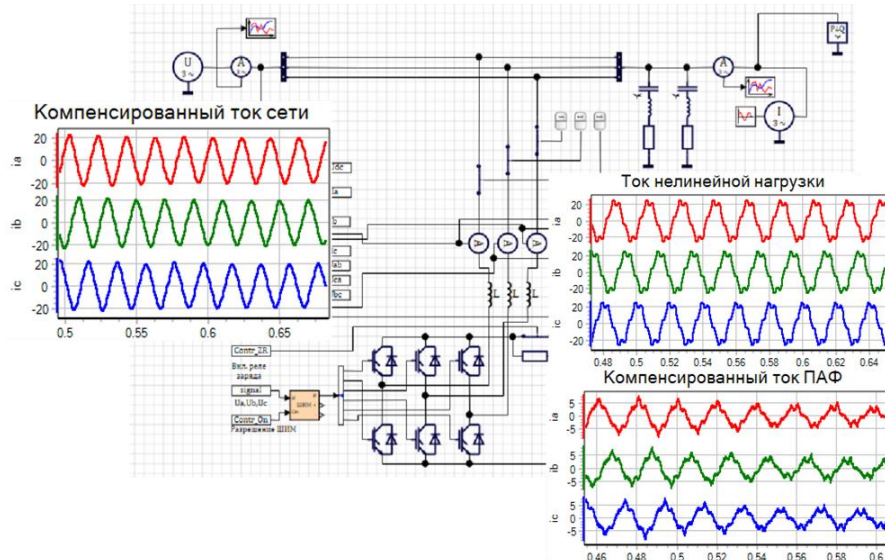


Рис. 3. Модель третьего варианта ФКУ (ГФУ)

На рис. 3 приведена структура ГФУ, в котором используются ПАФ и два ПФ. Компенсация остаточных гармонических искажений осуществляется за счёт ПАФ после двух ПФ, настроенных на подавление канонических 5 и 7 ВГС, тем самым, уменьшая номинальную мощность и массогабаритные показатели самого ПАФ. По результатам моделирования ГФУ, получены осциллограммы и спектрограммы напряжения и тока, представлены на рисунке 7. Уровень напряжения по результатам математического моделирования не изменяется. Анализируя таблицу 1 и полученные результаты спектрограммы можем увидеть, что степень снижения уровней ВГС тока и напряжения ГФУ на основе ПАФ и ПФ обеспечивает более эффективную компенсацию гармоник по сравнению с отдельным использованием ПАФ и ПФ. При этом для обеспечения компенсации ВГС с помощью ГФУ на основе ПАФ можно уменьшить индуктивность на выходе автономного инвертора ГФУ, что позволяет снизить массогабаритную часть.

Таблица 1

Результаты абсолютной амплитуды для каждого режима сети

Режим сети	f, Гц	50	100	150	200	250	300	350
Без ФКУ	о.е.	23,24	1,4	0,88	1,26	5,99	0,84	4,99
ПФ	о.е.	18,77	1,73	1,86	2,77	0,29	1,8	0,12
ПАФ	о.е.	20,21	1,73	1,08	1,12	3,16	0,82	2,49
ГФУ	о.е.	18,64	0,26	1,15	1,40	0,13	1,79	0,07

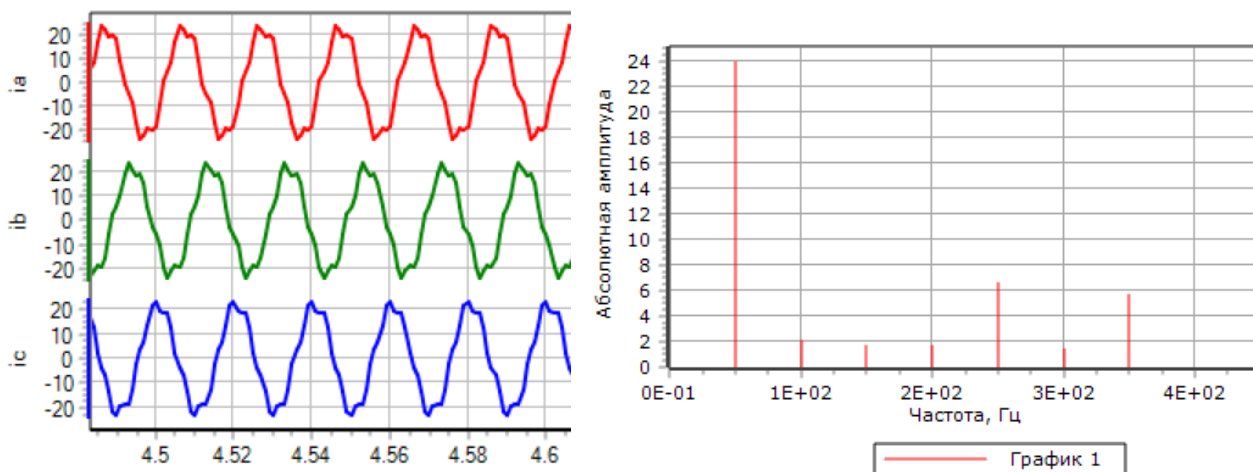


Рис. 4. Осциллограмма и спектрограмма кривой тока фазы А без применения пассивных фильтров

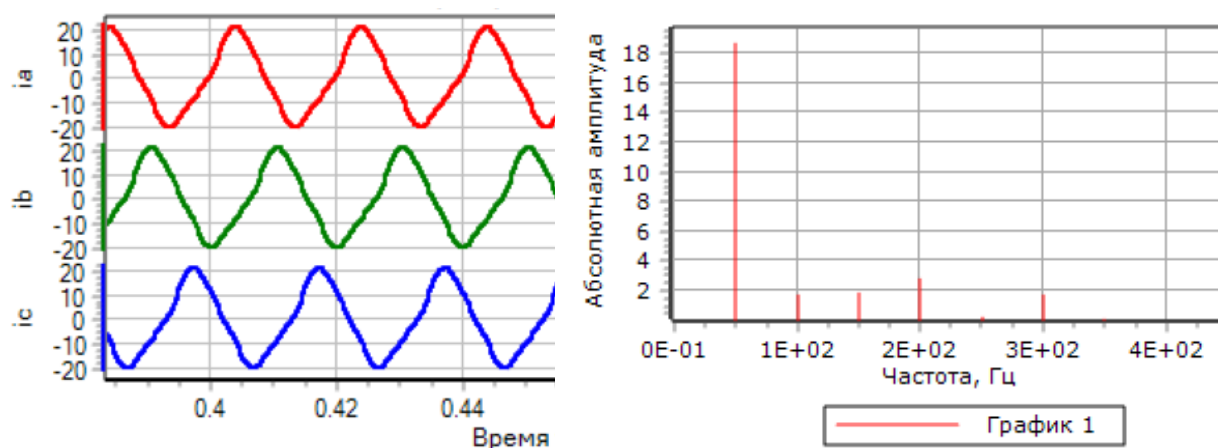


Рис. 5. Осциллограмма и спектрограмма кривой тока фазы А с применением ПФ, настроенных на 5 и 7 ВГС

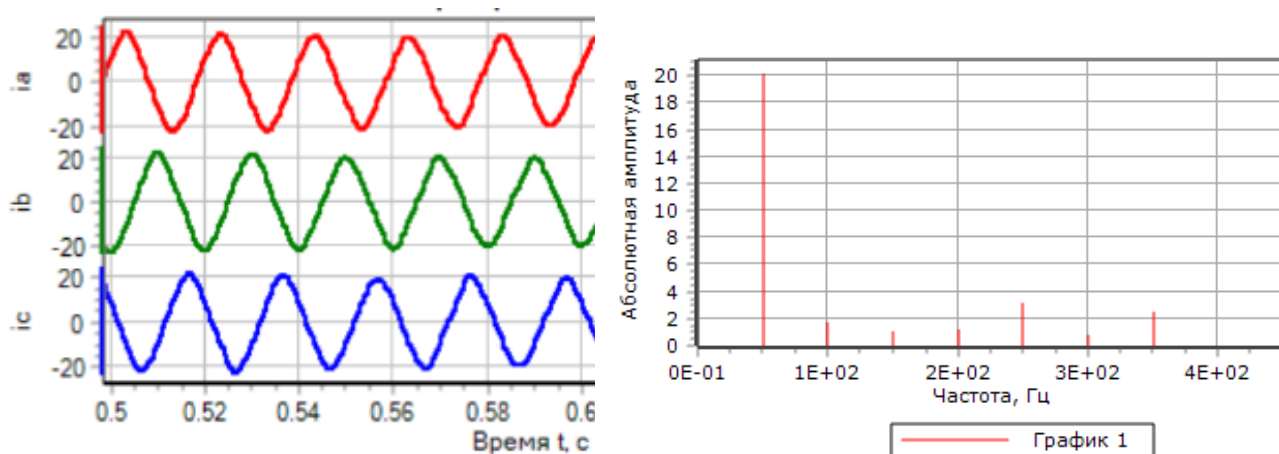


Рис. 6. Осциллограмма и спектрограмма кривой тока фазы А с применением ПАФ

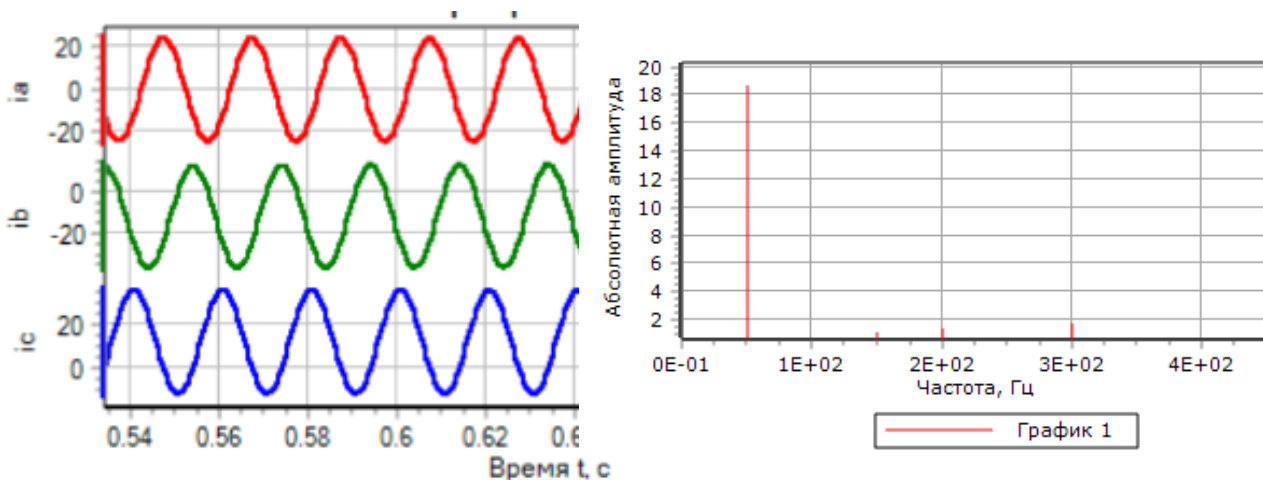


Рис. 7. Осциллограмма и спектрограмма кривой тока фазы А с применением ГФУ

### Заключение

Для решения существующей проблемы по повышению качества электроэнергии в комбинированных системах электроснабжения с нелинейной нагрузкой, и регулированию гармонических составляющих, можно использовать ряд технических средств и решений, таких как: использование параллельных и последовательных активных фильтров; использование гибридных фильтрокомпенсирующих устройств.

Результаты проведенного моделирования продемонстрировали снижения уровней ВГС ГФУ на основе ПАФ и ПФ, который обеспечивает более эффективную компенсацию гармоник по сравнению с отдельным использованием ПАФ и ПФ. Это позволяет рассматривать данное устройство в качестве инструмента для повышения качества электроэнергии.

### Список использованных источников

1. Баршадский И.А., Якимишина В.В., Данилов В.Г. Выбор регулируемых фильтрокомпенсирующих устройств в сетях 0,4 кВ с нелинейными нагрузками // Вестник ДонНТУ. – 2017. – С. 16–22.
2. Сычев Ю.А. Фильтрокомпенсирующие устройства с активными преобразователями для повышения качества электроэнергии в электротехнических комплексах нефтегазовых предприятий. – Санкт-Петербург : «Санкт-Петербургский горный университет», 2021. – 365 с.
3. Дрей Н.М. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения с малой установленной мощностью. – Чебоксары : «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», 2021. – 133 с.



## РАБОТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НЕКАЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Иванов Д.А.<sup>1</sup>, Захаров В.О.<sup>2</sup>, Андреенков Е.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске,  
группа: ИТЭС-23 (маг.), e-mail: dimas\_2572@mail.ru

<sup>2</sup> Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске,  
группа: ИТЭС-23 (маг.), e-mail: vitaliy.zakharov.303@mail.ru

<sup>3</sup> Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске,  
доцент, e-mail: root67@mail.ru

### Введение

Асинхронные двигатели характеризуются сложными режимами запуска, в ходе которых пусковые токи могут достигать семикратного превышения номинальных значений, а максимальный пусковой момент – увеличиваться до трех раз. Такие высокие пусковые токи часто вызывают нагрев обмоток электродвигателей, что приводит к износу изоляции и, как следствие, сокращает срок службы всего электрооборудования [1].

В данной работе мы рассматриваем поведение асинхронных машин в условиях низкого качества напряжения в сети, особенно при сниженной частоте. Для глубокого анализа этих процессов необходимо использовать компьютерное моделирование. Однако создание точного математического описания асинхронного электродвигателя, как и других электрических машин, представляет собой сложную задачу. Поэтому в решении этой задачи нам могут оказать помощь компьютерные системы, способные моделировать переходные процессы асинхронных машин при изменении частоты напряжения в сети.

### Описание модели

Характеристики асинхронных электродвигателей во многом зависят от качества электроэнергии, поступающей из питающей сети. Например, прямой запуск таких двигателей возможен, если их пусковые режимы не вызывают падения напряжения более чем на 10 %. Важно отметить, что зависимость электромагнитного момента асинхронных машин от напряжения сети имеет квадратное соотношение, что является уникальной особенностью именно этих двигателей.

Обычно небольшие отклонения от этих параметров не вызывают серьезных проблем, однако с увеличением этих отклонений влияние на функционирование устройства становится заметным. Поэтому для каждого электроприемника и питающей электрической сети устанавливаются нормы, определяющие допустимые пределы таких отклонений.

Для более глубокого анализа пусковых режимов асинхронных электродвигателей при различных показателях качества сети потребуется провести моделирование с помощью специализированных программ [2]. В рамках этого исследования мы планируем смоделировать работу асинхронной машины в следующих условиях: пониженное напряжение при стандартной частоте сети; повышенное напряжение при стандартной частоте сети; сниженная частота напряжения сети.

Для компьютерного моделирования используем программный комплекс *SimInTech*, которая предназначено для моделирования инженерных и технических систем. Исследование данной темы выполнялось на примере трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором 4А71А2У3 параметры, которые приведены в таблице 1 [3].

Таблица 1

Каталожные данные АД 4А71А2У3

Двигатель	Мощность двигателя Р, кВт	COS φ	КПД, %	Параметры схемы замещения, отн. ед.					Номинальное скольжение $S_n$ , %	Критическое скольжение $S_k$ , %	Критический момент, отн. ед.	Момент инерции J, кгм <sup>2</sup>
				$X_m$	$R'_1$	$X'_1$	$R''_2$	$X''_2$				
4А71А2У3	0,75	0,87	77,0	2,6	0,12	0,052	0,064	0,077	5,9	38,0	2,2	0,00097

Для анализа характеристик электродвигателя была разработана его математическая модель, которая приведена на рис. 1.

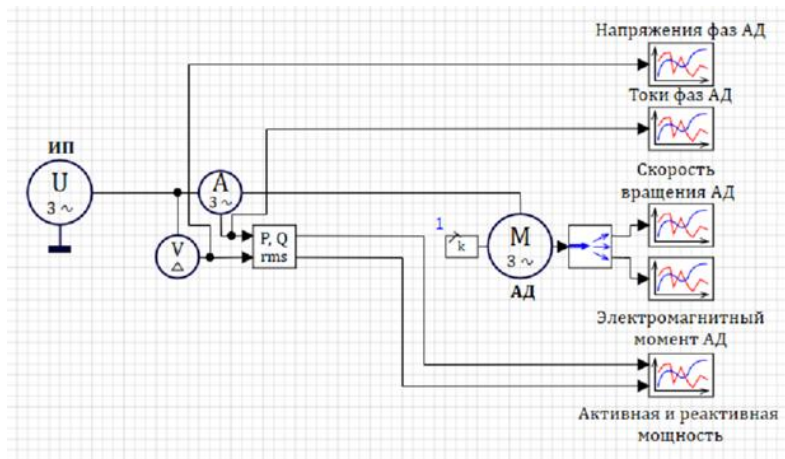


Рис. 1. Компьютерная модель для исследования пусковых режимов АД.

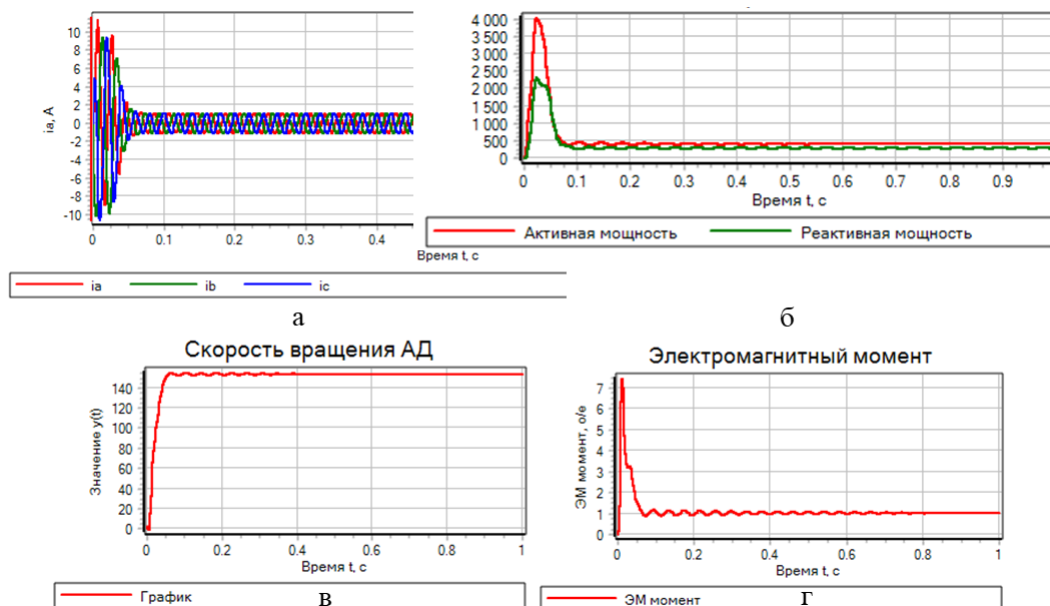


Рис. 2. Результаты моделирования и поведение АД с прямым пуском:  
 а - графики переходных процессов токов; б - потребляемая активная и реактивная мощность; в – скорость вращения; г – электромагнитный момент

Для асинхронных двигателей опасность представляют как положительные, так и отрицательные отклонения напряжения. Действующим в настоящее время, стандартом качества электроэнергии ГОСТ 32144-2013 в точке передачи электроэнергии допускаются отклонения напряжения до  $\pm 10\%$ , причем величина отклонений на зажимах электроприемника не должна превышать, установленного для него, допустимого значения.

Результаты компьютерного моделирования приведены на рис. 3 и 4 в виде графиков переходных процессов двигателя.

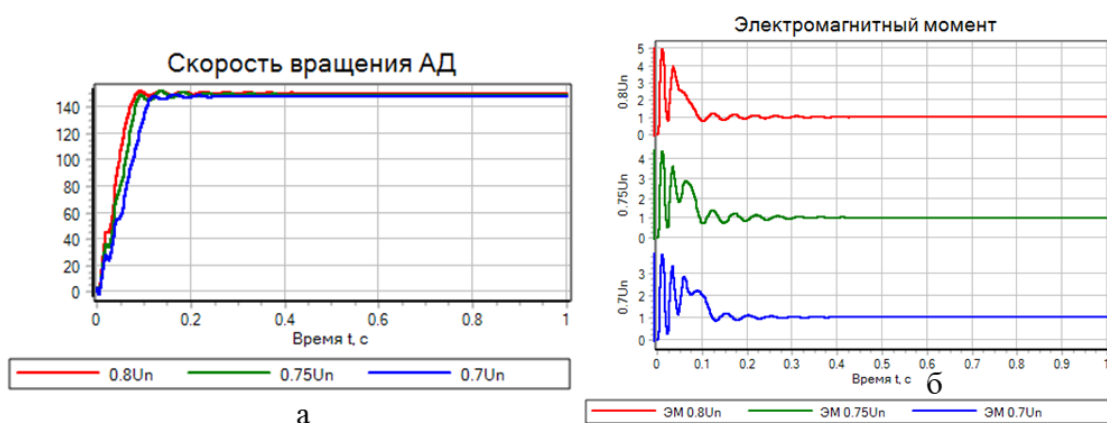


Рис. 3. Результаты моделирования и поведение АД при пониженном напряжении сети:  
 а – скорость вращения; б – электромагнитный момент

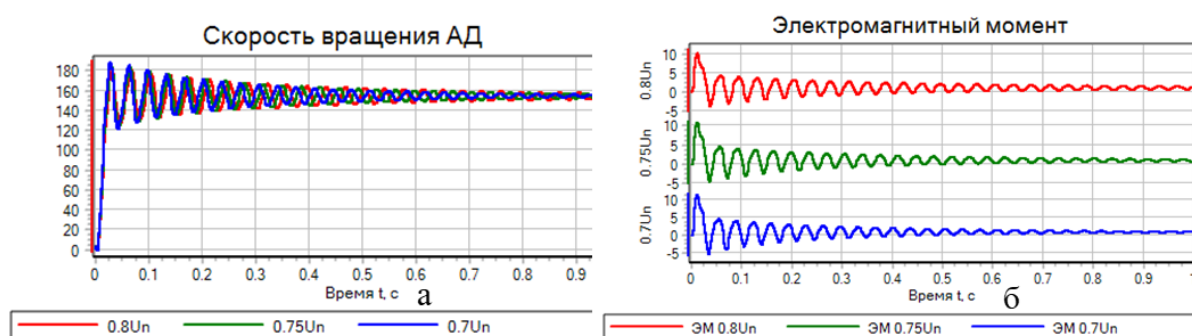


Рис. 4. Результаты моделирования и поведение АД при повышенном напряжении сети:  
 а – скорость вращения; б – электромагнитный момент

По полученным результатам видно, что при пуске асинхронного двигателя с пониженным напряжением сети:

- время пускового переходного процесса увеличивается;
- разгон скорости вращения асинхронного двигателя затягивается;
- амплитуда момента машины уменьшается, а интенсивность колебаний моментов увеличивается;
- токи ротора и статора асинхронной машины, как и момент двигателя, его амплитуда уменьшаются, а интенсивность колебаний увеличивается;
- при пуске с пониженным напряжением на 35 % от номинального значения, асинхронная машина не запустится.

Для исследования электродвигателя при разной частоте была разработана его математическая модель, которая приведена на рис. 5. Результаты моделирования показывают, что изменение частоты питаемой сети приводит к значительным проблемам для асинхронных двигателей. Это отражается на всех ключевых параметрах машины, включая момент, скорость и ток статора. Хотя понижение частоты сети в большинстве случаев невозможно, в условиях нагруженных энергосистем или в удаленных сельских районах это явление встречается довольно часто. Для решения данной проблемы необходимо комплексное подход, включающее модернизацию как в области энергетики, так и в электротехнике. Графики на рисунках 6 наглядно демонстрируют, что при снижении частоты сети скорость и момент асинхронной машины начинают проявлять колебательный характер, что усложняет управление как самой машиной, так и электроприводом.

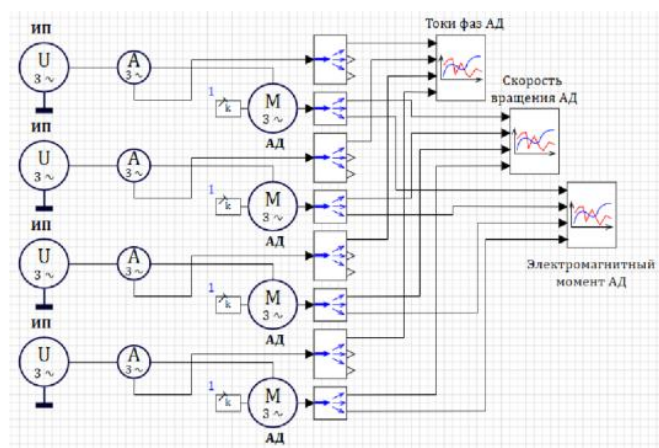


Рис. 5. Имитационная модель для исследования пусковых режимов АД при различных частоты сети

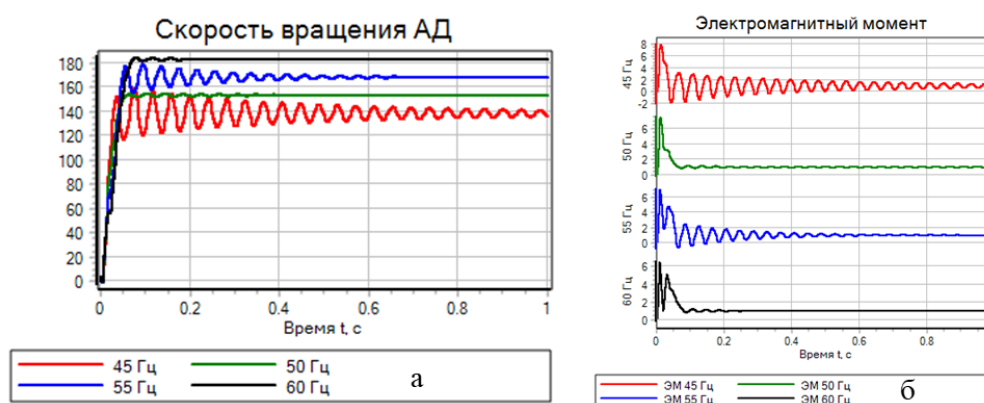


Рис. 6. Результаты моделирования и поведение АД при различной частоте сети:  
а – скорость вращения; б – электромагнитный момент

### Заключение

Результаты проведенного моделирования продемонстрировали, что увеличение провалов напряжения в питающей сети негативно сказывается на запасе динамического момента двигателя при его запуске. Это приводит к перегреву устройства и удлинению времени пуска. Критическими значениями, согласно исследованию, стали провалы напряжения на уровне 25 % и 30 %, так как в этих диапазонах запуск двигателя становится затруднительным или вовсе невозможным. Более того, такие провалы могут активировать защитные механизмы и автоматику электропривода из-за длительного процесса пуска.

При запуске с напряжением на 30 % ниже номинального значения асинхронная машина не запускается. При пониженной частоте питающей сети асинхронные двигатели демонстрируют отклонения в различных параметрах, таких как момент, скорость и токи статора. Хотя снижение частоты в большинстве случаев невозможно, в условиях перегруженных энергосистем или в сельских районах это может иметь место. Графики, представленные на рисунках 6, показывают, что при снижении частоты сети скорость и момент асинхронной машины начинают колебаться, что создает дополнительные трудности в управлении таким устройством или электроприводом.

### Список использованных источников

1. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. унта, 1998. – 172 с.
2. Сивокобыленко В.Ф. Математическое моделирование АД собственных нужд станций: учебное пособие / В.Ф. Сивокобыленко, В.И. Костенко. – Донецк : Изд-во ДПИ. 1979. – 110 с.
3. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб.пос. для вузов. – М. : Энергоатомиздат, 1989.
4. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. М.Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 735 с.

# EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATIONS OF WATER HAMMER ANALYSIS IN PIPELINE

Ruan S.<sup>1</sup>, Mamonova T.E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tomsk Polytechnic University, Advanced Engineering School  
"Smart Energy Systems", A2-36, e-mail: syen@tpu.ru

<sup>2</sup> Tomsk Polytechnic University, Advanced Engineering School  
"Smart Energy Systems", associate professor, e-mail: stepte@tpu.ru

## Introduction

A hydraulic shock is a physical phenomenon occurring in pipelines, characterized by a sudden change in pressure due to rapid variations in fluid flow velocity. Unsteady fluid flow in pressurized pipelines leads to the formation of zones with sharp pressure changes. The hydraulic shocks (HS) resulting from abrupt pressure increases or decreases can cause emergency situations due to damage to pipelines, pumping systems, connecting elements, and fittings [1].

Undoubtedly, hydraulic shock is a significant and relevant phenomenon in the field of hydraulics and pipeline system design. In modern industrial and urban infrastructure contexts, where complex and highly loaded systems are utilized, the consequences of hydraulic shock can lead to substantial economic losses and environmental issues. A sudden pressure increase during a hydraulic shock can cause irreparable damage to structural components.

## Water Hammer Results



Fig. 1. Examples of damage in piping systems due to hydraulic shock

To protect against the consequences of hydraulic shock in pipeline systems, provisions for pressure changes during hydraulic shock are established, along with various methods and technical means for stabilizing pressure within the pipeline.

## Main part

Common pressure control methods include increasing the operating time of valves and pumps, enhancing the rotational inertia of pumps by installing flywheels, optimizing pipe materials, properly organizing the pipeline layout, and integrating pressure control devices such as surge tanks and pressure vessels [2–5]. Among existing methods, the installation of surge tanks is one of the most frequently used due to its strength and reliability under intense pressure fluctuations [6]. Additionally, existing tunnels can often be converted into pressure relief reservoirs, significantly reducing costs compared to other supplementary pressure control devices [7].

To mitigate hydraulic shock, several methods are employed:

1. Smooth operation of shut-off valves: implementing gradual opening and closing of valves.
2. Use of safety valves for fluid extraction: incorporating pressure relief valves.
3. Utilization of vibration dampers: employing devices designed to absorb pressure fluctuations.
4. Implementation of constant pressure control technology: ensuring stable pressure conditions.

The smooth opening and closing of valves involve using various types, such as check valves, surge dampers, and air inlet and vent valves. Fluid extraction before shut-off valves is facilitated by liquid extraction valves, which are set to specific pressure values and rupture membranes.

## Hydraulic shock modeling in COMSOL Multiphysics 6.0 environment

The model consists of the following elements: tank block, pipeline and valve (fig.2).

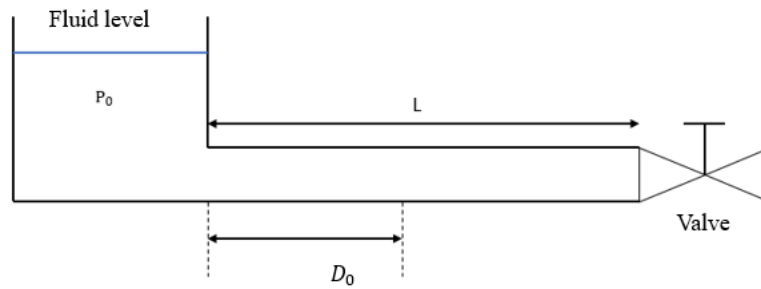


Fig. 2. Schematic diagram of the model of the pipeline system

The model includes a pipe length of 20 m with an internal diameter of 398.5 mm, connected to a reservoir. A valve is installed at the end of the pipeline. The pipe material is steel, with a Young's modulus of 210,000 MPa and a wall thickness of 8 mm. A pressure measurement point is installed at a distance  $D_0$  from the reservoir. The reservoir has a constant pressure source,  $P_0 = 1$  bar. Initially, the valve is opened with a fluid flow rate of  $Q_0 = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , and the fluid gradually flows from the reservoir into the pipeline. At time  $t = 0$  s, the valve is abruptly closed. Due to the compressibility of water and the elasticity of the pipe, a sharp pressure impulse will occur before the valve. The speed of the hydraulic shock wave is determined by the formula [8]:

$$\frac{1}{c^2} = \frac{1}{c_s^2} + \rho\beta_A \quad (1)$$

where  $c_s$  is the isentropic speed of sound in a bulk fluid (1481 m/s for water),  $\rho$  is the density of water,  $\beta_A$  – is the compression coefficient of the pipe cross section.

Next, consider the pressure distribution over the entire pipeline at different valve closing times and the pressure variation at the pressure measuring point.

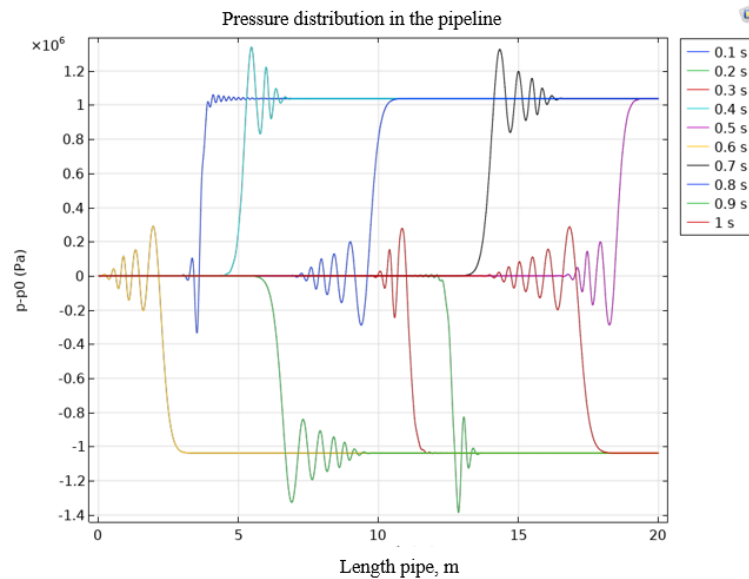


Fig. 3. Pressure distribution on the pipeline at closing time with a step of 0.1 s

As can be seen from Fig. 3, the amplitude of the hydro stroke overpressure completely coincides with the theoretical prediction of positive oscillations and, according to Zhukovsky's theory, is based on instantaneous valve closure.

## Conclusion

Hydraulic shock in pipeline and water supply systems is a significant phenomenon for studying fluid flow characteristics and analyzing the state of liquid transport systems. The search for the optimal measurement

points in the pipeline (to determine where to install the pressure sensor) depends on pressure changes over time, as well as the sensor characteristics, such as the sampling rate of the output signal. Proper placement of the pressure sensor is crucial to accurately capture transient pressure fluctuations and ensure effective monitoring and control of the system.

## References

1. Kalinichenko RA. Speeds of protecting pipe protection from hydraulic-country impact // *International Academic Bulletin*. – 2018. – № 5. – P. 65–68.
2. Han Y. et al. Effects of closing times and laws on water hammer in a ball valve pipeline // *Water*. – 2022. – Vol. 14. – № 9. – P. 1497.
3. Cao Y. et al. Study on vibration characteristics of fracturing piping in pump-starting and pump-stopping water hammer // *Journal of Failure Analysis and Prevention*. – 2019. – Vol. 19. – P. 1093–1104.
4. Wan W. et al. Investigation of partially expanded surge tank with self-adaptive auxiliary system controlling water hammer in pipelines // *Engineering Science and Technology*. – 2023. – Vol. 40. – P. 101379.
5. Zhang X. et al. Experimental study on pressure characteristics of direct water hammer in the viscoelastic pipeline // *AQUA – Water Infrastructure, Ecosystems and Society*. – 2022. – Vol. 71. – № 4. – P. 563–576.
6. Danciu D., Popescu D., Răsvan V. Water hammer stability in a hydroelectric plant with surge tank and throttling // *IFAC-Papers Online*. – 2019. – Vol. 52. – № 18. – P. 144–149.
7. Zeng Y. et al. Nonlinear hydro turbine model having a surge tank // *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*. – 2013. – Vol. 19. – № 1. – P. 12–28.
8. Ghidaoui M.S. et al. A review of water hammer theory and practice // *Appl. Mech. Rev.* – 2005. – Vol. 58. – № 1. – P. 49–76.



# ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «ДВИГАТЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛЯТОРОВ

Ситдииков Д.С.

ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ,  
г. Санкт-Петербург, dima.sitdikov.99@mail.ru

## Цель

Целью работы является разработка и моделирование системы «двигатель-генератор» с использованием программного управления и автоматических регуляторов в среде Simulink.

## Описание работы системы

Автоматизированные системы управления (АСУ) являются неотъемлемой частью современных технологий [1]. Их внедрение в различные сферы производства позволяет повысить эффективность процессов, сократить количество ошибок и минимизировать участие человека в рутинных операциях. Одним из ключевых направлений использования АСУ является управление электромеханическими системами, такими как система «двигатель-генератор». Основная идея заключается в разработке математической модели системы для анализа её поведения в динамических режимах и стабилизации параметров системы с помощью регуляторов.

Для построения модели системы была создана математическая модель, описывающая основные процессы, происходящие в электрических машинах – двигателе и генераторе. В модели учтены такие компоненты, как якорные обмотки, сопротивления, индуктивности, механический момент и угловая скорость вращения. Системой уравнений описывается связь между электрическими и механическими параметрами системы. Структурная схема модели системы «двигатель-генератор» представлена на рис. 1.

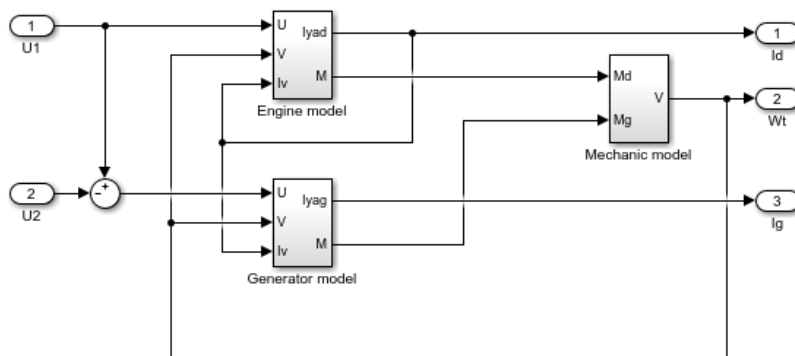


Рис. 1. Схема модели системы «двигатель-генератор»

В качестве управляющих сигналов  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$  были выбраны линейно возрастающие до заданных значений напряжения. Работа системы разделена на следующие этапы: разгон (180 секунд), поддержка постоянной скорости (300 секунд), плавное торможение (300 секунд). Время завершения моделирования установлено на 800 секундах.

Разберем более подробно изменение управляющих сигналов на каждом этапе работы системы:

1. Разгон  $[0; 180]$  – управляющий сигнал  $u_1$  линейно нарастает от нуля до 1500 В,  $u_2$  в первые 10 секунд нарастает до 64 В.

2. Поддержка постоянной скорости  $[180; 480]$  –  $u_1$  равен 1500 В,  $u_2$  равен 64 В.

3. Плавное торможение  $[480; 780]$  –  $u_1$  линейно убывает до 0 в промежуток  $[480; 600]$ , далее равен 0,  $u_2$  линейно убывает до нуля.

Каждое из управляющих воздействий определяется в пакете Simulink с помощью блока Signal Builder [4].

Структурная схема модели системы при программном управлении показана на рис. 2. Траектории изменения управляющих воздействий  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$  показаны на рис. 3.



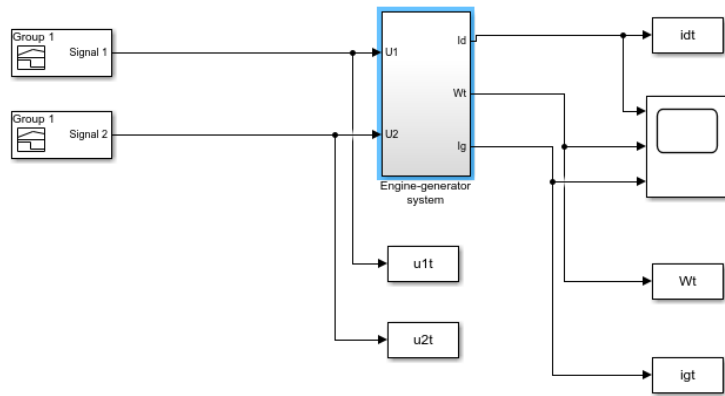


Рис. 2. Модель системы при программном управлении

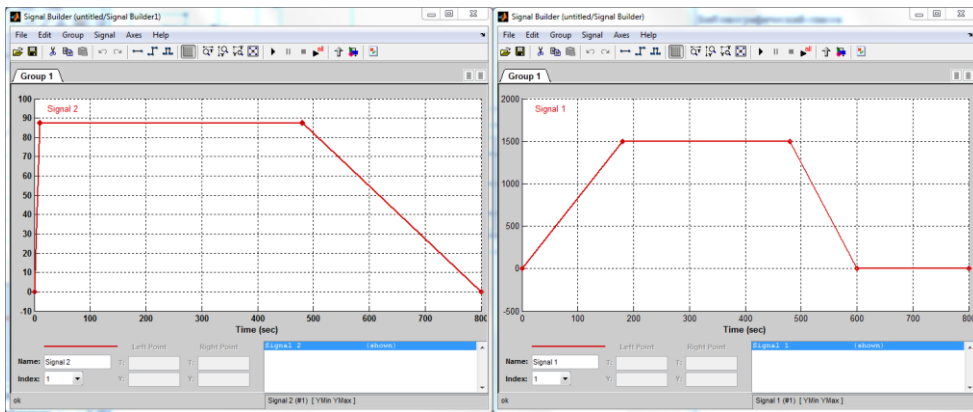


Рис. 3. Траектории управляющих воздействий  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$

Временные диаграммы скорости  $\Omega(t)$ , токов  $i_d(t)$  и  $i_r(t)$  представлены на рис. 4, 5 и 6.

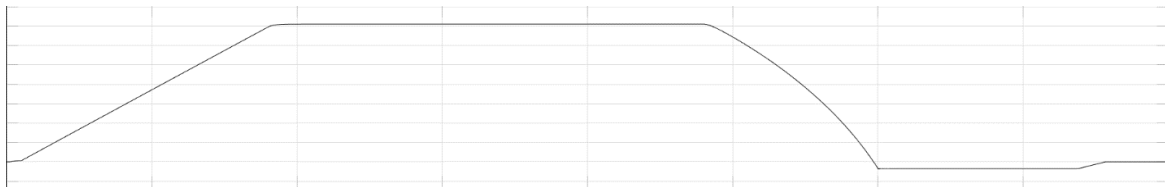


Рис. 4. Временная диаграмма скорости  $\Omega(t)$

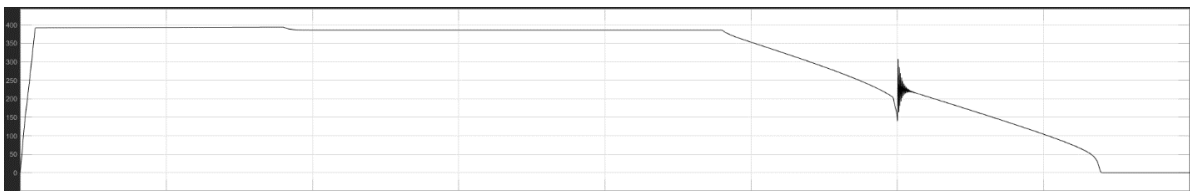


Рис. 5. Временная диаграмма тока  $i_d(t)$

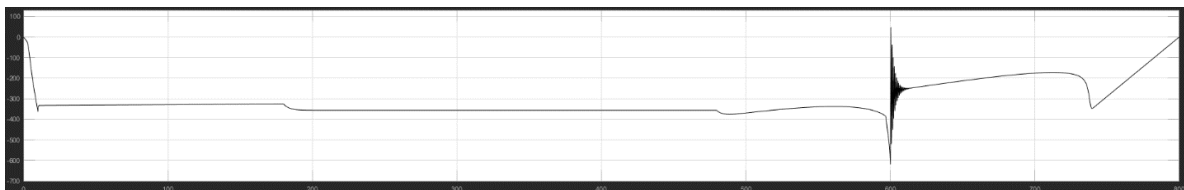


Рис. 6. Временная диаграмма тока  $i_r(t)$

По представленным рисункам можно сделать следующий вывод: значения тока двигателя и частоты вращения близки к номинальным, диаграмма в обмотках генератора не соответствует заданному сигналу. Также присутствует некоторое вращение в обратную сторону после торможения, что вызвано неправильным выбором закона изменения  $u_2(t)$ .

Для управления током двигателя и генератора были синтезированы ПИ-регуляторы [5], а для регулирования скорости использован П-регулятор. Регулирование тока генератора, который косвенно влияет на ток двигателя является главной задачей при управлении. Для её выполнения необходимо минимизировать отклонение тока генератора от программной траектории.

Регуляторы настроены таким образом, чтобы обеспечить линейную зависимость между входными воздействиями и выходными параметрами системы, что позволяет достичь астатического управления [2]. Настроенные коэффициенты регуляторов были рассчитаны на основе математических моделей системы и проверены в процессе моделирования. Регуляторы обеспечивают изменение состояния объекта (скорости и тока) по заданным программным траекториям [3]. Изменение траектории скорости и тока представлены в таблице 1.

Таблица 1

Изменение траектории скорости и тока

Время (t), сек	Скорость ( $\Omega$ ), рад/с	Время (t), сек	Ток (I), А
$0 \leq t \leq 180$	Линейно возрастает от 0 до $\Omega_H$	$0 \leq t \leq 10$	Линейно изменяется от 0 до $-I_H$
$180 < t \leq 480$	Постоянное $\Omega_H$	$10 < t \leq 580$	Постоянное $-I_H$
$480 < t \leq 600$	Линейно убывает от $\Omega_H$ до 0	$580 < t \leq 750$	Линейно возвращается к 0
$t > 600$	0	$t > 750$	0

Структурная схема модели системы, собранная в Simulink, проиллюстрирована на рис. 7, а программные траектории, заданные в блоках Signal Builder, представлены на рис. 8.

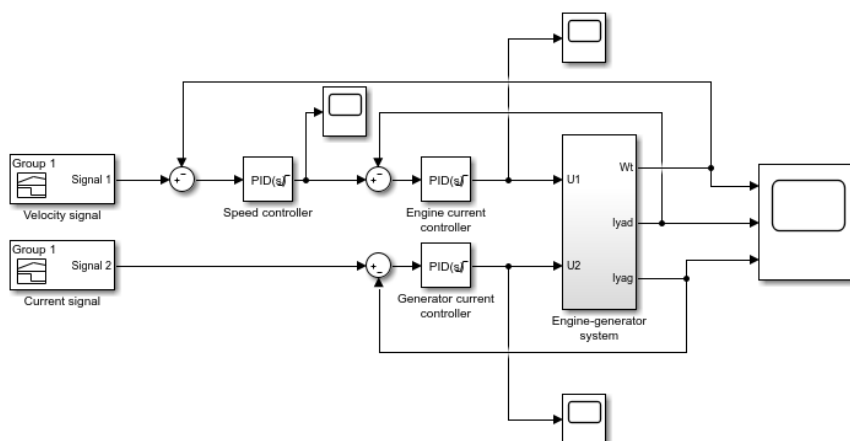


Рис. 7. Модель системы при автоматическом управлении

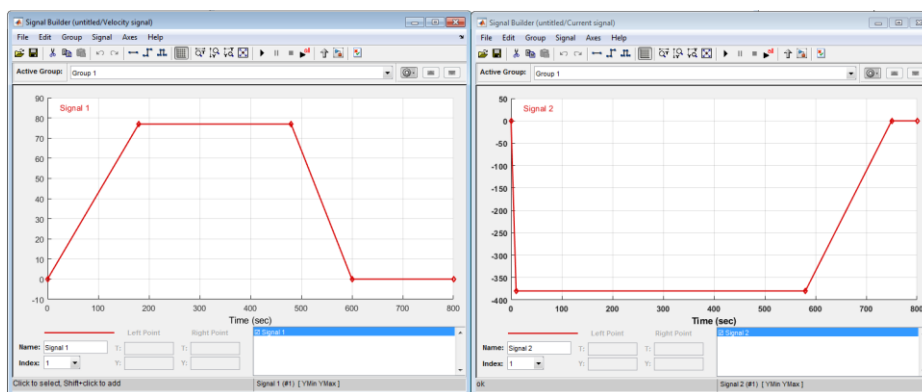


Рис. 8. Программные траектории скорости  $\Omega_{зад}$  и тока  $i_{зад}$

Временные диаграммы скорости  $\Omega(t)$ , токов  $i_d(t)$  и  $i_r(t)$  представлены на рисунках 9, 10 и 11.

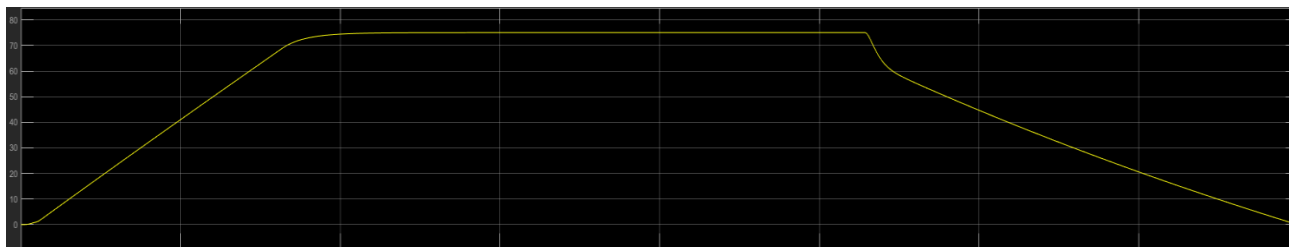


Рис. 9. Временная диаграмма скорости  $\Omega(t)$

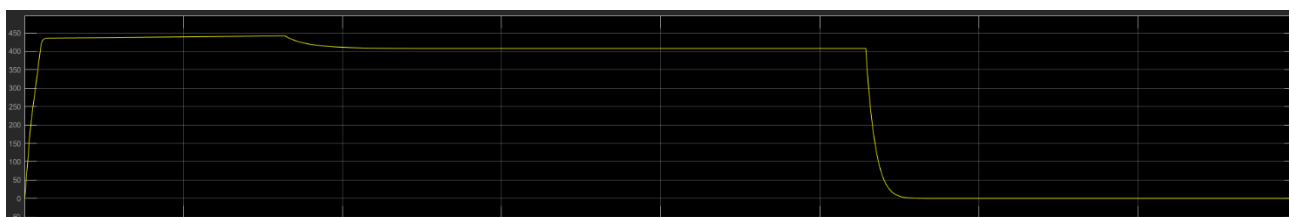


Рис. 10. Временная диаграмма тока двигателя  $i_d(t)$

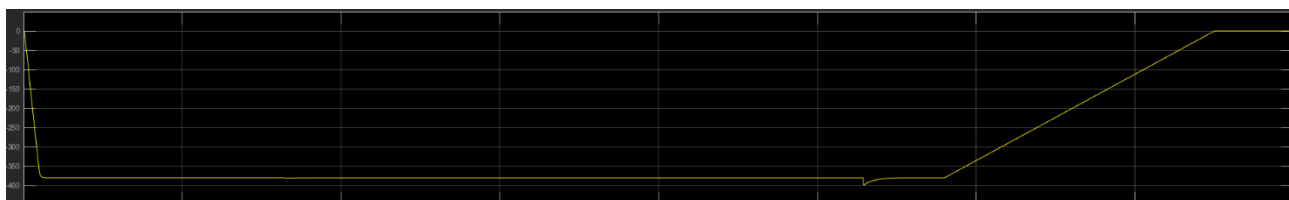


Рис. 11. Временная диаграмма тока генератора  $i_r(t)$

## Заключение

Построена модель системы «двигатель-генератор» в среде Simulink. Произведено моделирование при программном управлении. В качестве управляющих воздействий на вход системы подавались сигналы  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$ . Результатом моделирования стали временные диаграммы скорости вращения вала, а также токов в обмотках двигателя и генератора.

При управлении реальной системой возможно возникновение расхождений между реальными параметрами объекта и теми, что заданы в модели, так как модель – это лишь приближённое представление реального устройства и может не учитывать такие факторы, как нелинейные эффекты. Из-за этого программное управление не всегда позволяет достичь точного состояния системы.

Для достижения высокой точности управления и стабильности системы при любых режимах работы необходимо использование обратной связи и регуляторов. Поэтому был применен способ управления с независимым регулированием тока генератора. Для чего были произведены расчеты коэффициентов П-регулятора в контуре управления по скорости вращения для обеспечения астатизма, и ПИ-регуляторов в контурах управления током двигателя и генератора для устранения возмущений.

## Список использованных источников

1. Волкогонов В.Н., Гельфанд А.М., Деревянко В.С. Актуальность автоматизированных систем управления // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. – 2019. – С. 262–266.
2. Брагин Т.М., Степанов А.М., Степанов М.Ф. Решение задачи синтеза закона управления системой «двигатель-генератор» в системе «ГАММА-3» // Сайт лаборатории № 18 ИПУ РАН : <http://lab18.ipu.ru/>. – 2012.
3. Когут А.Т., Лаврухин А.А. Синтез типовых регуляторов в системах автоматического управления. – 2009.
4. Дьяконов В.П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров. – 2017.
5. Вороненкова А.А., Тютиков В.В. Аналитический синтез системы управления объектом с запаздыванием // Молодежь и современные информационные технологии. – 2016. – С. 327–328.

# ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРИЕМНИКА ДЛЯ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Титков И.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ, г. Санкт-Петербург, ilyatitkov25@gmail.com

## Введение

Целью данной работы является цифровое моделирование системы приемника, функционирующего в составе полезной нагрузки космического аппарата, для определения его технических параметров и выполнения оценки возможности их выполнения, а также для решения задачи компенсации влияния эффекта Доплера.

## Описание работы системы

В настоящий момент для компенсации влияния эффекта Доплера на качество связи в приемо-передающей линии. Используют наземный сегмент аппаратуры. В данной работе были использованы бортовые средства космического аппарата.

Чтобы компенсировать доплеровский частотный сдвиг, необходимо регулировать выходную частоту путем подачи на вход платы управляющего напряжения и переменного коэффициента деления для более точной подстройки. В системе приемника применяется генератор, управляемый напряжением, который отвечает за формирование высокочастотного сигнала гетеродина, далее сигнал гетеродина подается на смеситель, в котором происходит смешивание исходного сигнала с гетеродином, а также фильтрация комбинационных частот и составляющих. На выходе смесителя образуется сигнал в выходном диапазоне частот, который в дальнейшем подвергается цифровой обработке в соответствии с заданным алгоритмом и представленными требованиями. Для решения задачи компенсации Доплеровского сдвига частоты путем бортовых систем космического аппарата, в составе приемника включена цифровая плата ФАПЧ для автоматической подстройки частоты. На рис. 1 представлена структурная схема цифровой модели приемника с возможностью компенсации эффекта Доплера.

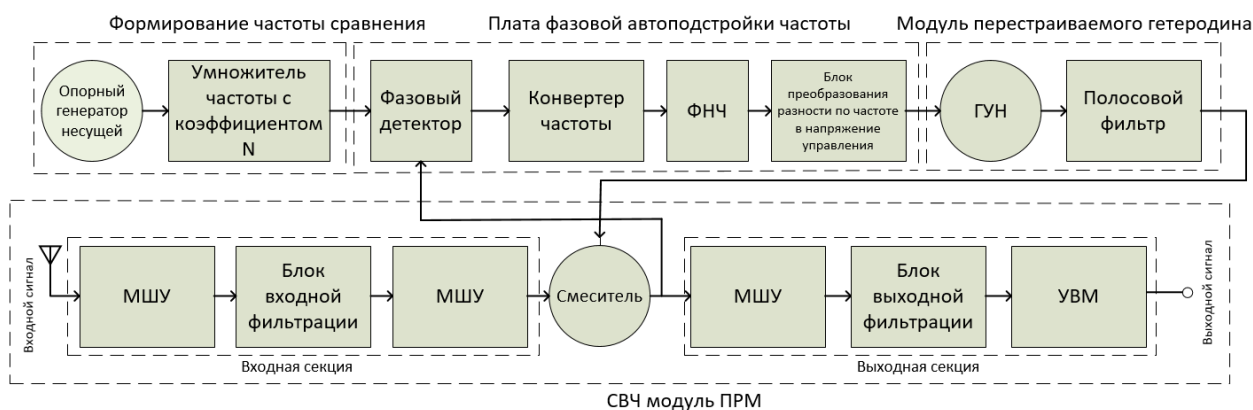


Рис. 1. Структурная схема цифровой модели приемника:

МШУ – малошумящий усилитель;

УВМ – усилитель высокой мощности;

ГУН – генератор управляемый напряжением;

ФНЧ – фильтр нижних частот;

СВЧ – сверхвысокочастотный;

ПРМ – приемник

В данной системе модуль СВЧ ПРМ решает задачу усиления и переноса сигнала в диапазон выходных частот, для этого используется схема с одним переносом частоты. Сигнал, проходящий через входную секцию, выделяется в полосе частот и осуществляется предварительное усиление. Данный сигнал имеет низкую энергетику, для дальнейшей цифровой обработки его необходимо усилить, используя МШУ. Опорный генератор и

умножитель используются для формирования частоты сравнения. Фазовый детектор сравнивает опорный сигнал с сигналом после смесителя, на его выходе вырабатывается разность частот, которая после частотного конвертера и фильтрации ФНЧ подается в блок преобразования разности по частоте в напряжение управления. При нулевой разности частот, на генератор управляемый напряжением подается нулевое напряжение и формируется нулевая частота гетеродина без смещения, которая определяется исходя из задачи системы. В случае если разность по частоте отличается от нулевого значения, формируется управляющее напряжение, таким образом сигнал на выходе смесителя перестраивается по частоте с компенсацией частоты Доплера, фильтруется и подается на усилитель высокой мощности и далее обрабатывается.

Для цифровой реализации модели используется программное обеспечение SystemVue, которое позволяет выполнять сложное моделирование для имитации работы различных систем и наблюдать визуальные результаты работы моделей.

На рис. 2 представлена цифровая модель приемника с компенсацией влияния на качество связи эффекта Доплера.

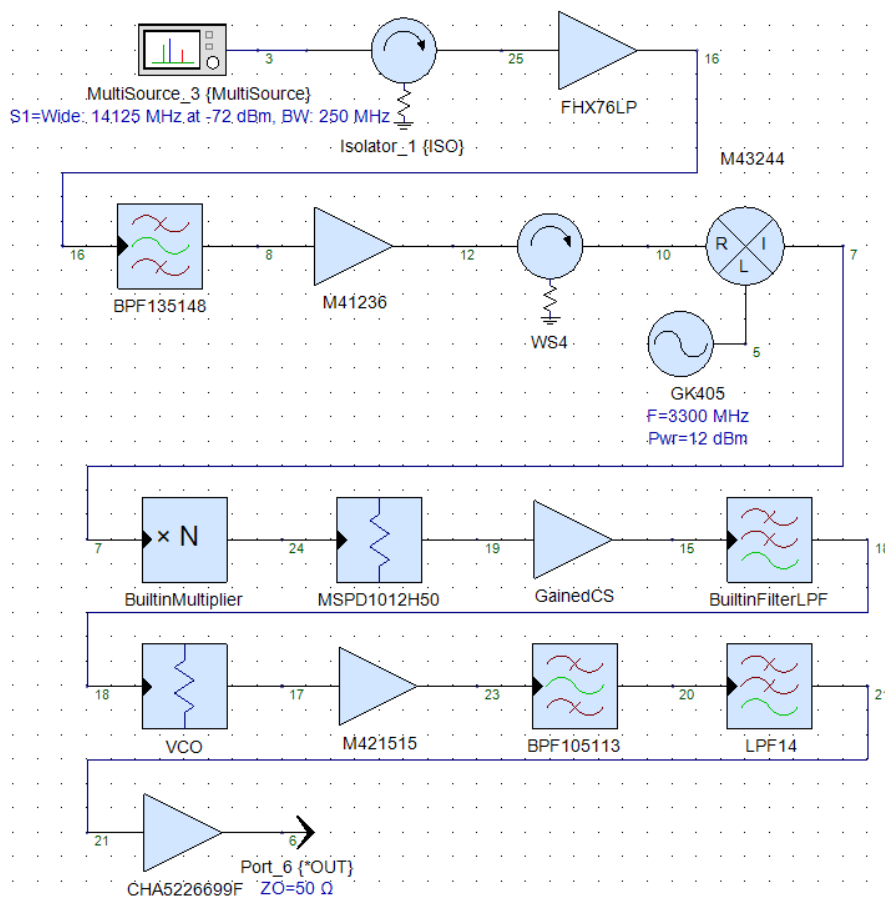


Рис. 2. Цифровая модель приемника с компенсацией влияния эффекта Доплера

На вход данной цифровой системы подается входной сигнал, случайно изменяющийся на заданную частоту Доплера. Также для имитации среды распространения, к сигналу добавлен шум с использованием генератора шума. Далее необходимо усилить весь принимаемый диапазон частот с помощью модели входного МШУ FHX76LP Sumitomo, и выделить полезный сигнал в полосе с помощью входного фильтра ППФ135148. После этого полученный на выходе фильтра полезный сигнал так же усиливается для передачи на вход смесителя M43244 с помощью МШУ M41236. На вход смесителя подается полезный сигнал, выделенный в полосе частот полосовым фильтром. На рис. 3 представлена АЧХ сигнала после усиления и выделения в полосе частот.

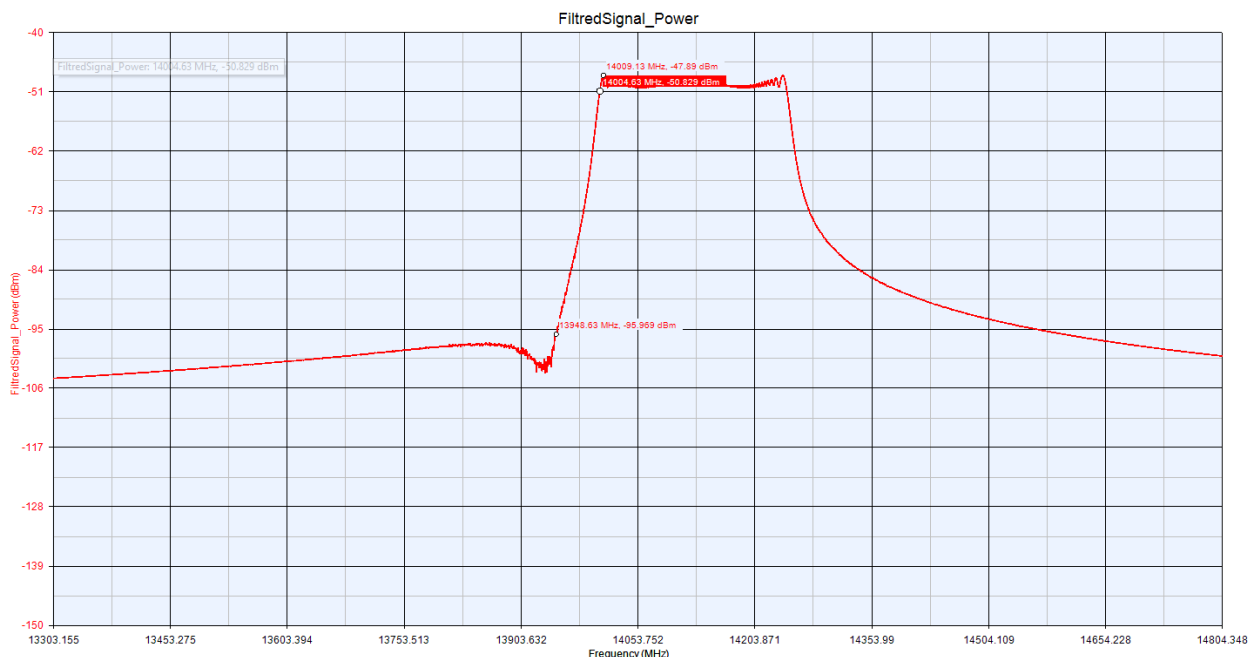


Рис. 3. АЧХ сигнала после усиления и выделения в полосе частот

Для реализации перестройки по частоте, был сгенерирован опорный сигнал. Далее он проходит через умножитель частоты с определенным коэффициентом умножения, и сравнивается с сигналом на выходе смесителя. Таким образом, система получает возможность автоматически перестраивать частоту гетеродина, в роли которого используется блок генератора управляемого напряжением.

В соответствии с управляющим напряжением, формируется сигнал с определенной частотой гетеродина. Пример АЧХ сигнала гетеродина представлена на рис. 4.

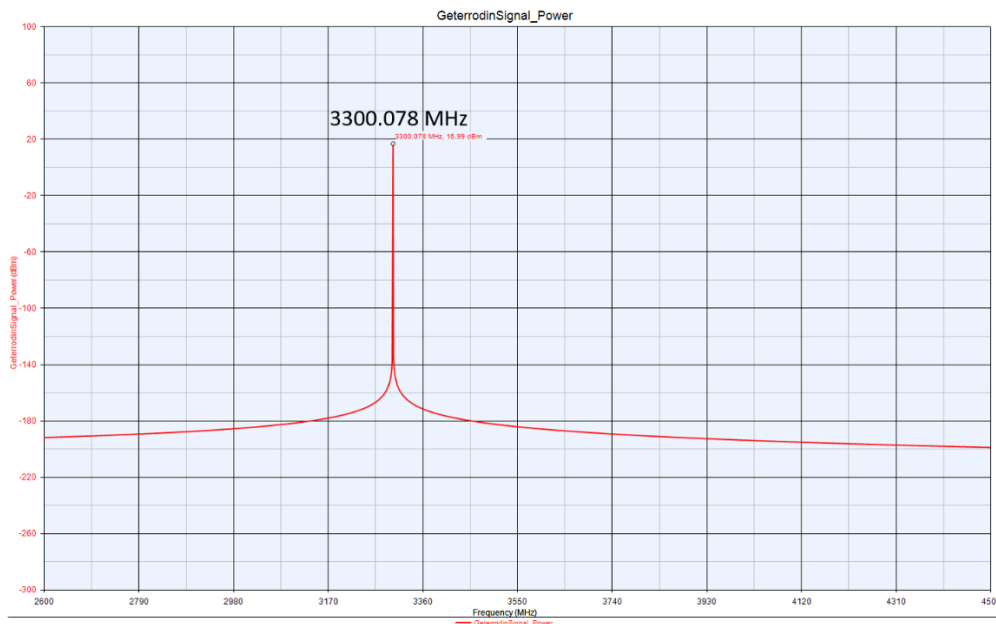


Рис. 4. АЧХ сигнала гетеродина при максимальном сдвиге частоты Доплера

Смоделированная система имеет возможность компенсации Доплеровского сдвига частоты, что повышает общее качество связи, позволяет избежать потери части сигнала и потерю полезной информации. Результатом работы цифровой системы является АЧХ сигнала на выходе приемника с компенсацией сдвига частоты Доплера в определенном диапазоне, данный результат представлен на рис. 5.

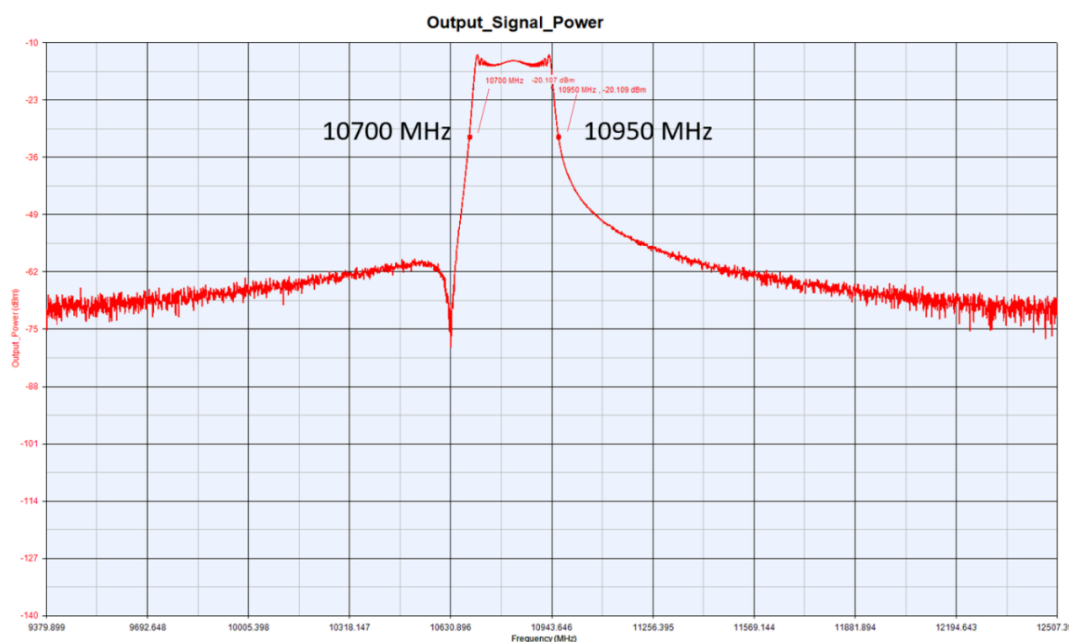


Рис. 5. АЧХ сигнала на выходе приемника с компенсацией СДЧ

## Заключение

В результате моделирования была получена цифровая система приемника, функционирующего в составе полезной нагрузки космического аппарата, с помощью данной модели были определены его технические характеристики и оценена возможность их выполнения. Система приемника с компенсацией Доплеровского сдвига решает задачу потери части полезного сигнала при движении космического аппарата по орбите. При моделировании были использованы тактико-технические характеристики реально существующих компонентов, что подтверждает возможность практической реализации такой системы, а так же ее эффективность и целесообразность разработки.

## Список использованных источников

1. Банков В.Н., Барулин Л.Г., Малышев И.В., Петрусинский В.В. Проектирование радиоэлектронной аппаратуры на интегральных микросхемах: печатное издание. – 258 с.
2. Спутниковые системы связи: орбиты ИСЗ [Электронный ресурс]: Электронный журнал. – URL: <https://kunegin.com/ref/lec/65.htm>.
3. Braun T.M. Satellite Communications, Payload and System. – 2nd ed. – John Wiley and Sons, Inc., 2021. – 716 с.
4. Банков В.Н., Барулин Л.Г., Малышев И.В., Петрусинский В.В. Радиоприемные устройства: проектирование радиоэлектронной аппаратуры на интегральных микросхемах. – Москва : Радио и связь, 1984. – 258 с.
5. Кантор Л.Я. Спутниковая связь и вещание: справочник. – Москва : Радио и связь, 1988. – 333 с.
6. Пушкарев В.П. Радиоприемные устройства: учебное пособие по курсовому проектированию. – Томск: ТУСУР, 2012. – 278 с.
7. Камнев Е.Ф., Системы спутниковой связи с эллиптическими орбитами, разнесением ветвей и адаптивной обработкой. – Москва: Глобсатком, 2009. – 724 с.
8. Мелихов С.В. Оценка чувствительности радиоприемных устройств. – Томск : ТУСУР, 2018. – 99 с.
9. Пушкарев В.П. Аналоговые и цифровые радиоприемные устройства: учебное пособие. – Томск : ТУСУР, 2018. – 230 с.
10. Phase Locked Loop [Электронный ресурс]: Электронный архив. – URL: <https://archive.org/details/PhaseLockedLoop-AN-1410ConfiguringAndApplyingTheMC74HC4046>.
11. Анализ сигналов и систем. Пакет System Vue. Моделирование элементов радиоприемных устройств [Электронный ресурс]: Электронная версия. – URL: [http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/02\\_08/3.htm](http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/02_08/3.htm).
12. Генератор управляемый напряжением VCO: принцип работы, применение, настройка [Электронный ресурс]: Электронный журнал. – URL: <https://treskamurmansk.ru/generator-upravlyaemyi-napryazheniem-vco-princip-raboty-primenenie-nastroika>.

# АНАЛИЗ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ СТАНЦИЙ СВЯЗИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖОРОВ

*Сокольников Д.А.<sup>1</sup>, Островский Ю.Н.<sup>2</sup>, Васильев Н.А.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного»  
МО РФ, г. Санкт-Петербург, sokolnikov.dima@inbox.ru:*

*<sup>2</sup>ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного»  
МО РФ, г. Санкт-Петербург, ostrovskii\_urii@mail.ru:*

*<sup>3</sup>ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного»  
МО РФ, г. Санкт-Петербург, vasn2020@mail.ru:*

## **Введение**

Целью данной работы является анализ использования цифрового моделирования для подготовки специалистов по эксплуатации спутниковых станций связи с помощью виртуальных тренажёров. В ней рассматриваются современные подходы к созданию цифровых моделей спутникового оборудования, позволяющих симулировать работу сложных систем связи в условиях, приближённых к реальным. Особое внимание уделяется обучению операторов навыкам настройки, диагностики и устранения неисправностей спутниковых станций в виртуальной среде. В статье также подчеркиваются преимущества использования виртуальных тренажёров, включая снижение затрат на обучение, повышение уровня подготовки и минимизацию рисков в процессе обучения.

## **Описание**

Современные технологии позволяют существенно изменить процессы подготовки специалистов по эксплуатации сложных технических систем. Одним из важнейших направлений в обучении связистов является освоение спутниковых систем связи, которые обеспечивают глобальные коммуникации в самых удалённых уголках планеты. Для повышения эффективности обучения в этой области активно применяются цифровые модели и виртуальные тренажёры, которые дают возможность будущим операторам изучать оборудование и отрабатывать свои навыки в максимально приближённых к реальности условиях.

Цифровое моделирование представляет собой процесс создания виртуальных копий реальных объектов, которые максимально точно отражают их физические и функциональные характеристики. В контексте спутниковых систем связи это означает, что цифровые модели позволяют симулировать работу спутникового оборудования и его взаимодействие с другими элементами сети. Это может включать моделирование поведения антенн, радиосигналов, помех, а также условий эксплуатации в различных географических и климатических зонах. Цифровые модели включают в себя не только физические параметры системы, но и программное обеспечение, управляющее работой спутников и наземных задач. Это дает возможность моделировать различные условия эксплуатации, включая изменение параметров связи, внешних помех и другого оборудования. Таким образом, операторы могут заранее отрабатывать действия в нештатных объектах, что особенно важно для обеспечения надежной связи в военных операциях.

Применение цифрового моделирования в обучении операторов спутниковых систем позволяет:

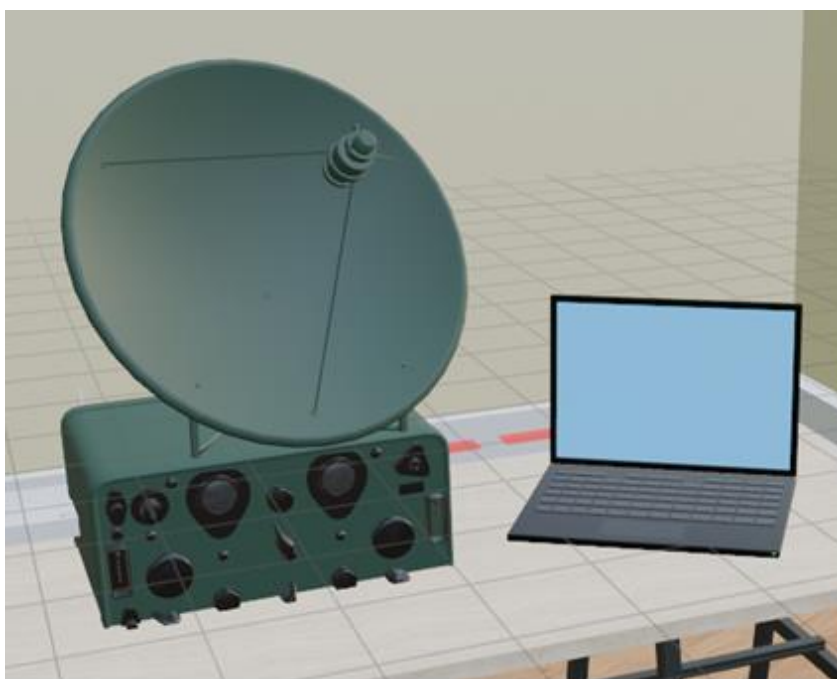
1. Тренироваться на виртуальных моделях, что сокращает затраты на использование реального оборудования. Цифровое моделирование позволяет операторам спутниковых систем тренироваться на виртуальных моделях, которые точно воспроизводят реальные устройства и инфраструктуру. Это не только сокращает расходы на эксплуатацию физического оборудования, но и уменьшает износ дорогостоящих систем. Виртуальные тренажёры имитируют реальные процессы, такие как настройка антенн, управление спутниками или устранение неисправностей, что обеспечивает высокое качество подготовки операторов без необходимости использовать реальные ресурсы. Использование реального оборудования для обучения может требовать значительных затрат на его техническое обслуживание, транспортировку и эксплуатацию, в то время как виртуальные тренажёры можно использовать неограниченное количество раз с минимальными затратами. Кроме того, обучение в виртуальной среде доступно в любое время, что делает процесс подготовки более гибким и удобным.

2. Одним из важнейших преимуществ цифрового моделирования является возможность изучения работы спутниковых систем в условиях, которые трудно или опасно воспроизводить в реальной



жизни. Например, моделирование воздействия солнечных бурь, сильных магнитных возмущений или экстремальных погодных условий. Солнечные бури могут вызывать серьёзные сбои в работе спутниковых систем, влиять на связь, навигацию и передачу данных. В реальной жизни подготовить оператора к таким ситуациям практически невозможно без риска для оборудования, но с помощью виртуальных тренажёров можно создавать сценарии с точной симуляцией подобных явлений. Это позволяет связистам отрабатывать действия в экстремальных условиях, где важна скорость принятия решений и точность выполнения операций.

3. Цифровое моделирование позволяет адаптировать программы обучения под специфику конкретных задач, стоящих перед оператором, и под используемое оборудование. Это особенно важно для различных подразделений войск, которые могут использовать различные типы спутниковых систем связи, антенн или программного обеспечения. Для каждой части войск можно создавать специфические учебные сценарии, моделируя оборудование, с которым связисты будут работать на практике. Например, если одна часть войск использует системы с фиксированной антенной, а другая — с мобильными спутниковыми станциями, можно создать разные симуляции для каждой группы. Это позволяет операторам не только изучить общие принципы работы спутниковой связи, но и освоить особенности управления теми или иными системами, что повышает их готовность к выполнению специфических задач. Пример цифрового моделирования спутниковой станции показан на рис. 1.



*Рис. 1. Цифровая модель спутниковой станции*

Основным инструментом для обучения операторов спутниковых станций на основе цифровых моделей являются виртуальные тренажёры. Эти тренажёры обеспечивают реалистичное моделирование работы с оборудованием в виртуальной среде, что позволяет обучать специалистов даже без доступа к реальным системам. Кроме того, использование VR-технологий позволяет обучать операторов в командной работе. Они могут взаимодействовать друг с другом в виртуальной среде, что улучшает координацию и обмен информацией в критических ситуациях. Совместные тренировки в виртуальной среде помогают улучшить командное взаимодействие и отработать совместные действия для обеспечения бесперебойной связи. Пример обучения на виртуальном тренажере представлен на рис. 2.



*Рис. 2. Обучение на виртуальном тренажере*

Виртуальные тренажеры предлагают следующие преимущества:

1. Экономичность. Полевые учения с использованием спутниковых систем связаны с большими расходами на транспортировку и установку оборудования, а также на его обслуживание. Виртуальные тренажеры существенно снижают эти затраты, так как обучение проводится в виртуальной среде без необходимости использования реальных ресурсов.

2. Безопасность. Обучение на виртуальных тренажерах позволяет избежать риска повреждения дорогостоящего оборудования. Кроме того, операторы могут тренироваться в ситуациях, которые в реальных условиях могли бы представлять опасность, например, в условиях высоких помех или экстремальной нагрузки на оборудование.

3. Командная работа. Современные виртуальные тренажеры могут интегрироваться в системы совместного обучения, позволяя операторам работать в команде, отрабатывая координацию действий в рамках сложных коммуникационных задач. Это особенно важно в условиях военных операций, где согласованность и оперативность действий играют ключевую роль.

## **Заключение**

Использование цифрового моделирования и виртуальных тренажеров для обучения операторов спутниковых станций связи предоставляет ряд значительных преимуществ. Оно позволяет существенно сократить расходы на подготовку, повысить её безопасность, а также предоставить операторам доступ к сложным и реалистичным сценариям, которые трудно воспроизвести в реальных условиях. Виртуальные тренажеры помогают будущим операторам развивать как технические навыки, так и навыки командной работы, что делает их важным инструментом в современных системах военной подготовки.

## **Список использованных источников**

1. Advancements in Virtual Reality Military Training. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.adsinc.com>.
2. Virtual Reality and Simulation for Satellite Training [Электронный ресурс] – URL: <https://www.researchgate.net>.
3. Enrico Del Re, Marina Ruggieri. Satellite Communications and Navigation Systems [Электронный ресурс]: Электронный журнал – URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-47524-0>.
4. Timothy Pratt, Charles Bostian, Jeremy Allnutt Satellite Communication Systems: Digital Modeling and Simulation. [Электронный ресурс]: Электронный журнал. – URL: <https://digital-library.theiet.org/content/books/te/pbte038e>

**Секция 3. Искусственный интеллект в образовании  
и правовые основы цифровой среды**

# НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ УДАЛЕННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАВИАТУРНОЙ ДИНАМИКИ

*Барышев М.В.<sup>1</sup>, Кочегурова Е.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, гр.8ИИ21, e-mail: mvb41@tpu.ru*

<sup>2</sup> *Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, доцент, e-mail: kocheg@tpu.ru*

## Введение

Современные технологии дистанционного обучения становится все более актуальным в образовании разного уровня. Это связано с доступностью дистанционных платформ обучения, а также возможностью получать знания в асинхронном режиме, в комфортной обстановке и с учётом индивидуального темпа обучения.

Однако, в плане кибербезопасности дистанционное образование и вся образовательная сфера являются одной из наиболее уязвимых. Это обусловлено как менталитетом обучаемых, так и значительными объемами конфиденциальных данных. Что делает университеты и другие образовательные учреждения привлекательными целями для хакерских атак. И согласно аналитическим данным ЭАК [InfoWatch](#) только за первое полугодие 2024 г. было скомпрометировано около 1 млрд записей персональных данных и это на 10 % больше, чем за полугодие в 2023 году.

Доля университетских дистанционных технологий обучения довольно велика – более 48 % [1], часть из которых реализуется в партнерстве с частными EdTech-компаниями. Но формы онлайн обучения по-прежнему функционально ограничены. Кроме вебинаров на платформах электронного образования, для повышения интерактивности и контроля знаний используются онлайн экзамены и тесты. Однако именно при онлайн-тестировании проявляются различные формы академического мошенничества. В том числе подмена личности, когда другой человек подменяет тестируемого в реальном масштабе времени [2]. Кроме организационных методов противодействия такой подмене, может быть предложена низкозатратная биометрическая идентификация обучаемого на основе его клавиатурного почерка (КП). Такой способ идентификации относится к поведенческой биометрической и может являться классификационным признаком личности.

Целью данной работы является идентификация личности пользователя на основе непрерывного и скрытого мониторинга динамических характеристик его КП при онлайн тестировании.

## Вопросы биометрической аутентификации

Идентификация и аутентификация пользователя – это ключевые понятия в области информационной безопасности [3]. Идентификация – первый этап верификации, на котором пользователь заявляет свои учетные данные. На втором этапе аутентификации пользователь подтверждает подлинность личности либо на основе знаний (пароля, пин-кода), либо владения (ключом, смарт-картой).

Существуют также биометрические методы аутентификации: физиологические (отпечатки пальцев, радужка глаза) и поведенческие (рукописный и клавиатурный почерк, голос, движения мышью). Аутентификация по физиологическим признакам имеет высокую точность, но затратна с позиции оснащения техническими средствами. Поведенческая аутентификация имеет низкую стоимость, не требует дополнительного оборудования, но требуется разработка высокоэффективного программного приложения для распознавания личности.

Скрытый мониторинг наиболее комфортен для пользователя, а эффективность мониторинга повышается в непрерывном (динамическом) режиме. Однако и КП, являясь поведенческой биометрической характеристикой, также изменяется во времени. Поэтому логично использование динамической аутентификации, которая обеспечивает сбор актуальных данных о нажатиях клавиш во всех приложениях операционной системы на протяжении всего времени работы пользователя за компьютером.

**Жизненный цикл аутентификации** пользователя включает две стадии (рис. 1):

- регистрация,
- аутентификация.



Рис. 1. Этапы динамической аутентификации

Регистрация включает сбор данных и извлечение показателей, отражающих ритм набора текста на клавиатуре. У всех пользователей ритм и темп индивидуальны.

Данные о клавиатурных нажатиях фиксируются при перехвате операционной системой любого события использования клавиатуры. Из полученной информации предлагаемая система извлекает данные, необходимые для создания шаблона пользователя. В самом общем случае кроме логина пользователя и кода клавиши, записывается время нажатия (Down) и отжатия клавиши (Up).

Затем, если собрано достаточное количество данных о КП для репрезентативных оценок, текущий шаблон сравнивается с шаблоном из БД. Так происходит распознавание пользователя. А на следующем этапе принимается решение о легитимности пользователя.

В случае легитимности личности система обновляет его пользовательский шаблон в БД.

### Вычислительный эксперимент и результаты

Значительная часть систем аутентификации основаны на статическом подходе с использованием predetermined texts. Динамическая аутентификация сложнее и затратнее по нагрузке системы, но многие аспекты (жизненный цикл, временные показатели КП, алгоритмы и методы распознавания, эффективность аутентификации) в основном одинаковы. Различны только этапы сбора временных показателей и актуализация шаблонов пользователей.

В данной работе использована концепция скользящего окна при сборе информации, т.к. имеет смысл анализировать не весь поток данных, а только его актуальную часть. Минимальный объем данных для начала аутентификации включает 200 символов, а размер скользящего окна – 600 символов. Такие объемы данных обеспечивают состоятельные оценки показателей КП. Кроме того, размерность окна гарантирует репрезентативность всех букв алфавита, которая согласуется с частотностью букв русского алфавита (рис. 2).

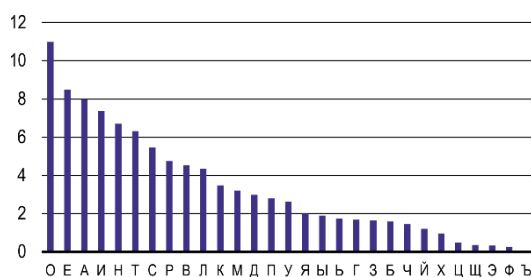


Рис. 2. Этапы динамической аутентификации

Существует несколько временных показателей клавиатурной динамики, отражающие моменты нажатия Down (D) и отпускания Up (U) клавиши. Однако самым популярным показателем является показатель время удержания клавиши (ВУК / DU), который и используется в данном исследовании.

Тестирование задачи динамической аутентификации проведено с использованием личных и общедоступных наборов данных, в том числе для набора КМ [4]. Следует отметить, что все общедоступные датасеты содержат информацию только на иностранных языках. Локальный набор данных на русском языке был собран в домене университета. Он включает шаблоны 20 пользователей с различным

числом сессий от 1 до 10, что недостаточно для полноценного исследования. Для увеличения и выравнивания количества сессий различных пользователей потребовались дополнительные сессии, которые получены на основе модели Бокса-Мюллера. Это позволило получить шаблоны пользователей на русском и английском языке на основе усреднения показателя ВУК.

Графически шаблоны представляют собой временные засечки для 6 пользователей русского алфавита и 8 – английского, рис. 3, а и 3, б соответственно.

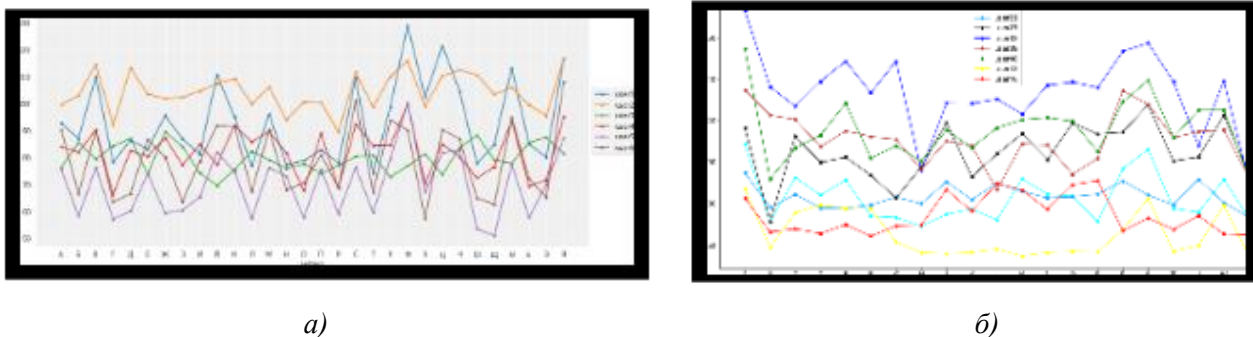


Рис. 3. Визуальное представление шаблонов пользователя

Визуально каждый шаблон уникален и с позиции скорости набора, и с позиции ритма. Соответственно различаются и статистические показатели ВУК. Например, из приведенной на рис. 4 гистограммы плотности распределения ВУК отчетливо различаются пользователи с низкой (user 4) и высокой (user 5, user 6) скоростью набора; равномерным темпом (user 3) и крайне неравномерным темпом (user 1). Приведенные выводы подтверждают также моды и медианы (пунктирные линии), которые могут быть формальным классификационным признаком. Здесь и далее представлено описание только для локального датасета и 6 пользователей.

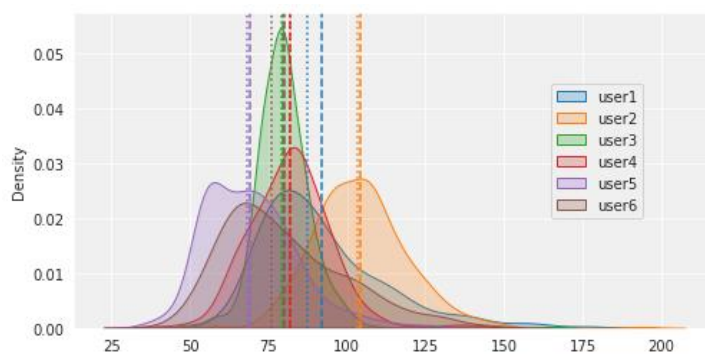


Рис. 4. Плотность распределения ВУК

Задача распознавания пользователя для подтверждения его легитимности решена в работе, как задача одноклассовой классификации [5]. Результат решения подтверждает / опровергает, что текущий образец КП и шаблон в БД являются объектами одного класса, а именно зарегистрированного пользователя домена. В отличие от многоклассовой классификации - цель которой выяснить кому из пользователей домена принадлежит текущий образец КП. И, применительно к системе дистанционного обучения и тестирования, одноклассовая классификация позволяет выявить нелегитимного пользователя, т.е. выявлять подмену личности.

Эффективность подтверждения легитимности студента может быть оценена традиционными ошибками I и II рода: FRR – ложный отказ в доступе легитимному пользователю и FAR – ложный доступ нелегитимного.

Вычислительный эксперимент проведен с целью получения FRR/ FAR ошибок, отражающих эффективность классификации пользователей. Для этого для каждого пользователя было смоделировано 200 сессий и 1200 – для всего эксперимента.

Ошибки распознавания определены значением порога для входа в систему. Пороговое значение



измеряется в тех же единицах, что и значения ВУК, т.е. в мс. Малые пороговые значения соответствуют трудному доступу в систему, соответственно многие пользователи будут отклонены и ошибка FRR – велика. И напротив, легкий доступ, соответствующий большим пороговым значениям, обеспечивает вход большого числа пользователей, в том числе незарегистрированных. В этом случае возрастает ошибка FAR.

На рис. 5 изображены показатели эффективности распознавания пользователей, полученные в предлагаемом вычислительном эксперименте.

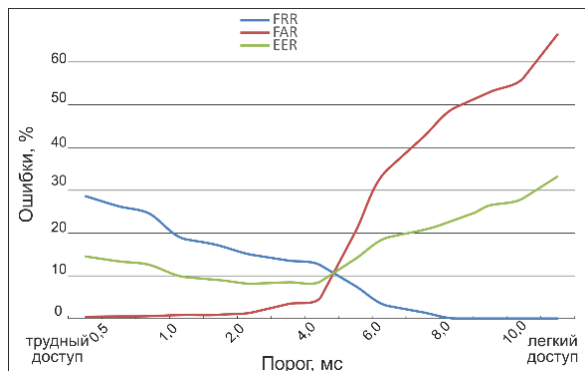


Рис. 5. Плотность распределения ВУК

Кроме ошибок FRR и FAR на рисунке представлена равная частота ошибок EER, отражающая общую эффективность системы. EER не монотонна, в отличие от FRR и FAR, и определяет общую ошибку системы аутентификации при различных пороговых значениях. В частности, для данного набора данных минимальное значение EER чуть меньше 10 % при пороге 4.1 мс. Это означает, что за 4.1 мс система установит легитимность пользователя со средней ошибкой 10 %. А учитывая, что среднее время ВУК равно 100 мс, величина порога довольно низкая.

## Заключение

Полученные показатели эффективности при установлении легитимности пользователя вполне приемлемы и по точности, и по производительности, основной вклад в которую вносит величина порога. Однако показатели эффективности могут быть существенно улучшены при использовании дополнительных инструментов распознавания. Например, использование частотности букв русского языка, приведенной на рис.2, позволило уменьшить ошибку EER с 10 % до 2.5 % при пороговом значении 2.4 мс. А именно производительность распознавания пользователя является главным фактором при подтверждении легитимности в образовательной сфере, поскольку оперативно пресекает факты академического мошенничества.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 23-21-00259).

## Список использованных источников

1. Гресева И. Онлайн-образование: объем рынка и основные тенденции // Softline. Тренды в цифре: сайт. – 2024. – URL: <https://slddigital.com/article/onlajn-obrazovanie-obem-rynka-i-osnovnyetendencii/#sotrudnichestvo-s-vuzami-i-gosudarstvom>.
2. Иоголевич Н.И., Лободенко Е.И. Академическая недобросовестность студентов технического вуза: масштабы проблемы и пути решения // Педагогика. Вопросы теории и практики. – 2020. – Т. 5, №. 1. – С. 99–106.
3. Kaspersky daily: URL:<https://www.Kaspersky.ru/blog/identification-authentication-authorization-difference/29123/> (дата обращения: 10.10.2024). Текст: электронный.
4. González N, Calot EP, Ierache JS, Hasperué W. On the shape of timings distributions in free-text keystroke dynamics profiles // Heliyon. – 2021. – Vol. 7 (11). – DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08413.
5. Кочегурова Е.А., Затеев Р.П. Скрытый мониторинг пользователя в дистанционной образовательной системе на основе клавиатурной динамики // Программирование. – 2022. – № 6. – С. 31–45.

# ГИБРИДНЫЕ МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ОСНОВЕ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ

Ванюков Д.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ, г. Санкт-Петербург, vanjukovda@vk.com

## Введение

Принятие обоснованных управленческих решений в современных организациях становится все более сложной задачей ввиду растущей сложности производственных, логистических и организационных систем. Для повышения эффективности процессов принятия решений все чаще применяются методы искусственного интеллекта (ИИ), которые позволяют моделировать и анализировать многофакторные процессы, выявлять скрытые закономерности, а также генерировать оптимальные решения.

Одним из перспективных направлений в области ИИ является роевой интеллект, вдохновленный коллективным поведением биологических роев, таких как муравьиные колонии или стаи птиц. Роевые алгоритмы, такие как муравьиные колонии (*Ant Colony Optimization, ACO*) и роевые частицы (*Particle Swarm Optimization, PSO*), успешно применяются для решения широкого спектра оптимизационных задач, включая планирование ресурсов, маршрутизацию и управление запасами. Их децентрализованный, самоорганизующийся характер позволяет эффективно справляться со сложными многокритериальными проблемами в условиях неопределенности.

В данной работе рассматривается подход к интеграции методов роевого интеллекта в гибридные системы поддержки принятия решений. Предлагаемые гибридные решения на основе роевого интеллекта позволяют повысить точность, объяснимость и адаптивность систем поддержки принятия решений в задачах планирования и оптимизации.

## Описание работы системы

Роевой интеллект основан на принципах коллективного поведения, где простые локальные взаимодействия между агентами (роевыми элементами) приводят к возникновению сложных, целенаправленных глобальных шаблонов. Ключевые особенности роевых систем включают в себя децентрализованное управление, самоорганизацию, параллельные вычисления и устойчивость к сбоям.

Роевые алгоритмы, такие как муравьиные колонии (*ACO*), изображенный на рис. 1, и роевые частицы (*PSO*), изображенный на рисунке 2, демонстрируют высокую эффективность в решении широкого класса оптимизационных задач. Принцип их работы заключается в следующем:

### 1. Муравьиные колонии (*ACO*):

- Агенты-муравьи исследуют пространство поиска, откладывая феромонные следы;
- Другие муравьи с большей вероятностью следуют по более «ароматным» феромонным следам, образуя оптимальные пути;
- Испарение феромонов со временем приводит к ослаблению неэффективных путей.

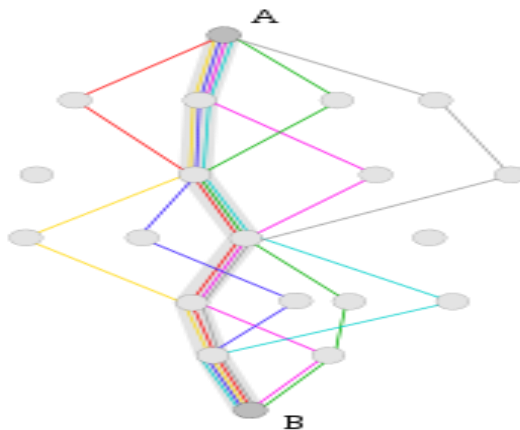


Рис. 1. Муравьиный алгоритм



2. Роевые частицы (*PSO*):
- Агенты-частицы перемещаются в пространстве поиска, ориентируясь на лучшие найденные решения;
  - Каждая частица запоминает свое лучшее положение, а также лучшее положение всего роя;
  - Частицы корректируют свою скорость и положение, чтобы приблизиться к глобальному оптимуму.



Рис. 2. Метод роя частиц

Применение роевых алгоритмов доказало свою эффективность в решении широкого спектра оптимизационных задач, включая:

1. Задачи планирования производства и распределения ресурсов.
2. Логистическую оптимизацию и маршрутизацию.
3. Управление цепочками поставок и складской логистикой.
4. Календарное планирование.

Несмотря на успехи роевых алгоритмов в оптимизационных задачах, их применение в системах поддержки принятия решений сопряжено с рядом ограничений. Многие роевые методы работают как "черные ящики", не предоставляя объяснений и обоснования принимаемых решений. Кроме того, они могут испытывать сложности при работе с многокритериальными, неопределенными или динамично меняющимися условиями.

Для преодоления этих ограничений предлагается использование гибридных методов искусственного интеллекта, сочетающих роевой интеллект с другими технологиями ИИ. Такие гибридные подходы позволяют:

1. Повысить точность и надежность систем поддержки принятия решений:
  - интегрируя роевые алгоритмы с нейронными сетями, нечеткой логикой, экспертными системами и другими методами ИИ;
  - применяя ансамблевые подходы, объединяющие преимущества различных алгоритмов.
2. Обеспечить объяснимость и интерпретируемость принимаемых решений:
  - сочетая роевой интеллект с методами машинного обучения, основанными на правилах;
  - применяя техники визуализации для наглядного представления процессов принятия решений.
3. Повысить адаптивность и устойчивость систем поддержки принятия решений:
  - использовать многоагентные архитектуры, где роевые алгоритмы взаимодействуют с другими компонентами ИИ-системы;
  - реализовывать механизмы непрерывного обучения и самонастройки для адаптации к меняющимся условиям.

В качестве примеров гибридных решений на основе роевого интеллекта можно привести следующие:

1. Гибридная система поддержки принятия решений для планирования производства, сочетающая *ACO* с нейронными сетями и нечеткой логикой. Роевой алгоритм *ACO* обеспечивает поиск оптимальных планов производства, а нейронные сети и нечеткая логика отвечают за моделирование производственных процессов и учет неопределенных факторов;

2. Интегрированная система управления цепочками поставок, основанная на *PSO* и экспертных системах. Роевой алгоритм *PSO* решает задачи оптимизации логистических маршрутов и распределения ресурсов, в то время как экспертные системы обеспечивают принятие решений на основе накопленных знаний экспертов в области управления цепочками поставок;

3. Многоагентная система поддержки принятия решений в календарном планировании, где агенты-муравьи (*ACO*) взаимодействуют с агентами-диспетчерами, использующими методы *case-based reasoning*. Такая архитектура позволяет сочетать эффективный поиск оптимальных планов с возможностью объяснения и адаптации решений на основе прецедентов.

Проведенные исследования и эксперименты с гибридными методами искусственного интеллекта, основанными на роевом интеллекте, продемонстрировали следующие ключевые преимущества:

1. Повышение точности и качества принимаемых решений:

- Гибридные подходы, сочетающие роевые алгоритмы с другими методами ИИ, показали более высокую эффективность в решении задач планирования, распределения ресурсов и оптимизации логистических процессов по сравнению с использованием только роевого интеллекта или традиционных методов.

- Ансамблевые техники, объединяющие результаты различных роевых и нероевых алгоритмов, позволяют повысить устойчивость к локальным оптимумам и улучшить качество получаемых решений.

2. Повышение объяснимости и интерпретируемости решений:

- Интеграция роевых алгоритмов с методами, основанными на правилах (экспертные системы, нечеткая логика), обеспечивает получение решений, которые могут быть лучше поняты и проанализированы лицами, принимающими решения.

- Визуализация процессов оптимизации и принятия решений в гибридных роевых системах помогает повысить доверие к генерируемым рекомендациям.

3. Повышение адаптивности и устойчивости к изменениям:

- Многоагентные архитектуры, где роевые компоненты взаимодействуют с другими модулями ИИ, обеспечивают более гибкую и адаптивную реакцию на изменения условий и динамику внешней среды.

- Механизмы непрерывного обучения и самонастройки позволяют гибридным роевым системам поддержки принятия решений эффективно адаптироваться к новым ситуациям.

Рассмотренные примеры практической реализации гибридных роевых ИИ-систем для планирования, логистики и управления цепочками поставок подтверждают их высокую эффективность и реальную применимость в современных организациях.

## Заключение

В данной работе представлен подход к интеграции методов роевого интеллекта в гибридные системы поддержки принятия решений для задач планирования и оптимизации. Предложенные гибридные решения, сочетающие роевой интеллект с другими технологиями ИИ, демонстрируют значительные преимущества по сравнению с использованием только роевых алгоритмов или традиционных методов.

Ключевыми достоинствами гибридных роевых ИИ-систем являются: повышение точности и качества принимаемых решений, обеспечение объяснимости и интерпретируемости решений, а также повышение адаптивности и устойчивости к изменениям. Представленные примеры практических реализаций подтверждают широкие возможности применения таких гибридных подходов в различных областях, включая планирование производства, управление цепочками поставок и логистическую оптимизацию.

Дальнейшие исследования в данном направлении должны быть сосредоточены на разработке более совершенных архитектур, методов взаимодействия между компонентами гибридных систем, а также на адаптации этих решений к специфике предметных областей и требованиям лиц, принимающих решения.

## Список использованных источников

1. Дориго М., Штюдле Т. Оптимизация муравьиными колониями. – М. : Техносфера, 2004. – 430 с.
2. Кунья Ж.Б., Мадурейра А., Кортес П., Коэльо Х. Гибридные интеллектуальные системы для прогнозирования отказов в производственных процессах // Гибридные интеллектуальные системы. – 2016. – С. 159–185.

3. Канг Ф., Ли Дж., Ма З. Алгоритм искусственных пчелиных колоний Розенброка для точной глобальной оптимизации численных функций // *Information Sciences*. – 2014. – С. 80–94.
4. Малышев В.В., Иванов С.Л. Гибридные интеллектуальные системы: учебное пособие. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 260 с.
5. Тан Г.Ф., Чан Т.М., Цуй В.Т., Чан Ф.Т., Хо Г.Т. Нечеткая логическая система для прогнозирования изменений энергопотребления в производственной системе. – 2008. – Т. 34, № 3. – С. 1813–1824.
6. Малышев В., Бласщик Т. Гибридная система поддержки принятия решений на основе оптимизации муравьиными колониями и case-based reasoning. – 2021. – Т. 165. – С. 113786.
7. Тан Х.Ч., Лоу Х.Ч., Чан Т.М., Цуй В.Т., Чан Ф.Т., Хо Г.Т. Нечеткая логическая система для прогнозирования изменений энергопотребления в производственной системе. – 2008. – Т. 34, № 3. – С. 1813–1824.
8. Наполес Г., Фальком Р., Ванхоф К., Белло Р. Обзор методов нечеткой логики в задачах календарного планирования потока работ // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*. – 2017. – Т. 7, № 4. – e1207.
9. Малышек В., Бласщик Т. Гибридная система поддержки принятия решений на основе оптимизации муравьиными колониями и case-based reasoning // *Expert Systems with Applications*. – 2021. – Т. 165. – 113786.
10. Ахмедов А.Э., Максимов Ю.Н. Применение роевого интеллекта в оптимизационных задачах планирования производства // *Экономика и предпринимательство*. – 2017. – № 8-1 (85). – С. 1032–1037.
11. Кеннеди Дж., Эберхарт Р. Оптимизация роем частиц // *Нейронные сети*. – 1995.

# ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Кальянов А.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ,  
г. Санкт-Петербург, kaliyan0ff@vk.com

## Введение

Цель этой работы заключается в том, чтобы исследовать и проанализировать различные аспекты применения технологий искусственного интеллекта в образовательной деятельности. Она направлена на выявление преимуществ, вызовов и перспектив использования ИИ для улучшения образовательного процесса, повышения успеваемости студентов и предоставления персонализированной поддержки. Более конкретно, цель заключается в том, чтобы показать, как ИИ может помочь в адаптации обучения к индивидуальным потребностям студентов, автоматизации оценки знаний и улучшении доступности образования.

## Описание работы системы

Искусственный интеллект трансформирует наше общество во многих аспектах, и его влияние на образование не является исключением. Введение ИИ в образовательный процесс открывает перед педагогами и студентами новые горизонты, предлагая инновационные подходы к обучению и взаимодействию. Образование всегда было одной из ключевых сфер, определяющих развитие общества, и внедрение технологий ИИ может значительно ускорить этот процесс, создавая более гибкую, адаптивную и персонализированную образовательную среду [1].

Современные технологии ИИ позволяют не только автоматизировать рутинные задачи, такие как проверка домашних заданий и тестов, но и предоставлять более глубокий анализ образовательных данных, прогнозировать успеваемость студентов и разрабатывать индивидуальные учебные планы. Кроме того, ИИ способствует развитию навыков критического мышления и творческого подхода у студентов, предоставляя им возможность работать с передовыми инструментами и технологиями.

В данном исследовании будет подробно рассмотрено влияние ИИ на образовательный процесс, начиная от интеллектуальных обучающих систем и анализа данных до использования виртуальных ассистентов и чат-ботов. Мы также уделим внимание этическим аспектам и вызовам, связанным с конфиденциальностью данных и прозрачностью алгоритмов, что является критически важным для обеспечения справедливого и эффективного применения ИИ в образовании.

Таким образом, внедрение технологий искусственного интеллекта в образовательную деятельность не только улучшает качество обучения, но и способствует развитию более инновационного и прогрессивного общества. Важно понимать, что использование ИИ требует ответственного подхода и внимательного рассмотрения всех связанных с этим вопросов, чтобы обеспечить максимальную пользу для всех участников образовательного процесса [2].

Интеллектуальные обучающие системы (*Intelligent Tutoring Systems, ITS*) уже проявили себя как мощный инструмент. Они анализируют данные о прогрессе студентов и адаптируют учебный материал в соответствии с их потребностями. ITS могут предлагать дополнительные материалы для закрепления знаний, генерировать тесты и упражнения, направленные на устранение пробелов в знаниях. К тому же, такие системы обладают возможностью мгновенно предоставлять обратную связь, что способствует оперативному исправлению ошибок и углублению понимания материала. Технологии ИИ активно используются для анализа больших данных об успеваемости студентов. Например, путем анализа экзаменационных результатов, посещаемости занятий, вовлеченности в учебный процесс и других факторов можно прогнозировать академический успех или выявлять риски неуспеваемости. Машинное обучение помогает в выявлении паттернов, которые могут быть неочевидны преподавателям, и предоставляет рекомендации по улучшению учебного плана или методов преподавания [3].

Автоматизация процесса оценки знаний с помощью ИИ облегчает работу преподавателей и повышает объективность оценивания. Например, системы распознавания текста позволяют быстро проверять и оценивать эссе и письменные работы, давая подробную обратную связь. Это не только экономит время, но и обеспечивает более равномерное и справедливое оценивание. Более того, системы ИИ могут анализировать ошибки и предлагать пути их исправления, что способствует более глубокому усвоению материала.

Дополнительно, ИИ может использоваться для анализа взаимодействия студентов с учебными материалами и предоставления подробной обратной связи в режиме реального времени. Это помогает студентам быстрее понять свои ошибки и внести необходимые коррективы в процессе обучения. Например, адаптивные системы могут обнаруживать трудности студентов при решении определенных задач и предлагать дополнительные материалы или практические упражнения, направленные на устранение пробелов в знаниях [4]. ИИ также может быть использован для создания более детализированных отчетов о прогрессе студентов. Такие отчеты могут включать информацию о сильных и слабых сторонах каждого учащегося, что позволяет преподавателям более эффективно планировать учебный процесс и индивидуальные подходы к каждому студенту. Это особенно важно в условиях дистанционного обучения, где непосредственное взаимодействие с преподавателем ограничено [5].

Кроме того, технологии ИИ могут быть интегрированы в онлайн-курсы и образовательные платформы, что позволяет проводить автоматизированное тестирование и оценку знаний на более высоком уровне. Это способствует созданию более качественного и гибкого образовательного процесса, где студенты могут получать мгновенную обратную связь и более точно отслеживать свой прогресс. Однако, необходимо учитывать и вызовы, связанные с внедрением ИИ в оценочный процесс. Одним из таких вызовов является необходимость обеспечения точности и надежности систем ИИ. Для этого важно проводить регулярные проверки и обновления алгоритмов, чтобы избежать ошибок и гарантировать объективность оценивания.

Таким образом, использование технологий искусственного интеллекта для обратной связи и оценки знаний открывает множество возможностей для улучшения образовательного процесса [6]. Автоматизация оценивания и предоставление персонализированной обратной связи помогает студентам более эффективно усваивать материал, а преподавателям - оптимизировать свои подходы к обучению. Важно продолжать развивать и совершенствовать эти технологии, чтобы обеспечить максимально положительное влияние на качество образования.

Виртуальные ассистенты и чат-боты на базе ИИ становятся незаменимыми помощниками для студентов и преподавателей. Эти технологии предоставляют возможность мгновенного доступа к информации и поддержке, что особенно важно в условиях дистанционного обучения и гибких графиков занятий. Одним из ключевых преимуществ виртуальных ассистентов является их способность обеспечивать круглосуточную поддержку. Студенты могут получать ответы на свои вопросы в любое время дня и ночи, что особенно полезно в случае срочных вопросов перед экзаменами или дедлайнами. Такие ассистенты могут предоставлять информацию о расписании занятий, напоминать о сроках сдачи работ и экзаменов, а также помогать в навигации по учебным материалам и платформам [7].

Чат-боты играют важную роль в автоматизации рутинных задач. Они могут обрабатывать запросы студентов, такие как регистрация на курсы, подача заявок на стипендии или участие в мероприятиях. Это освобождает время преподавателей и административного персонала, позволяя им сосредоточиться на более значимых аспектах образовательного процесса. Интеграция ИИ в виртуальные ассистенты также позволяет им адаптироваться к индивидуальным потребностям каждого студента. Например, чат-боты могут анализировать результаты тестов и успеваемость студентов, чтобы предоставлять персонализированные рекомендации по учебным материалам и упражнениям. Это помогает студентам более эффективно готовиться к экзаменам и улучшать свои академические результаты.

Еще одним значительным преимуществом является возможность многоканального взаимодействия. Виртуальные ассистенты могут быть интегрированы в различные платформы, такие как мобильные приложения, веб-сайты, социальные сети и мессенджеры. Это обеспечивает доступность образовательных ресурсов из любого устройства и в любом месте, что особенно важно в условиях современного мобильного образа жизни. Кроме того, виртуальные ассистенты могут способствовать развитию навыков самостоятельного обучения у студентов. Они могут предоставлять структурированную информацию и ресурсы, помогая студентам самостоятельно изучать новые темы и решать проблемы. Это повышает их автономию и уверенность в своих силах. Эти технологии также улучшают взаимодействие между студентами и преподавателями. Виртуальные ассистенты могут организовывать виртуальные консультации, отвечать на часто задаваемые вопросы и предоставлять обратную связь по выполненным заданиям. Это делает процесс обучения более интерактивным и ориентированным на студента.

Еще одним важным аспектом является возможность использования виртуальных ассистентов для поддержки студентов с особыми образовательными потребностями. Например, они могут предо-

ставлять адаптированные материалы и помощь в решении задач, что делает образование более инклюзивным и доступным для всех категорий студентов.

Необходимо также учитывать, что внедрение виртуальных ассистентов и чат-ботов требует тщательной проработки вопросов безопасности и конфиденциальности данных. Важно обеспечивать защиту личной информации студентов и предотвращать возможные утечки данных.

Таким образом, виртуальные ассистенты и чат-боты играют важную роль в современной образовательной среде, предоставляя оперативную поддержку, персонализированные рекомендации и улучшая доступность образовательных ресурсов. Эти технологии способствуют созданию более гибкого и эффективного процесса обучения, адаптированного к потребностям каждого студента. Еще одной проблемой является потенциальная предвзятость алгоритмов. Алгоритмы машинного обучения могут наследовать и усиливать предвзятости, присутствующие в данных, на которых они обучаются. Это может привести к несправедливому отношению к определенным группам студентов и неравномерному распределению образовательных возможностей. Важно разработать методы и подходы, которые минимизируют влияние предвзятости и обеспечивают равные возможности для всех учащихся.

Проблема прозрачности алгоритмов также играет важную роль. Образовательные учреждения и разработчики ИИ должны обеспечивать ясность и открытость в отношении методов и данных, используемых в системах ИИ. Это необходимо для того, чтобы все участники образовательного процесса могли доверять результатам работы таких систем и понимать их логику [8].

Еще один вызов связан с морально-этическими нормами. Использование ИИ в образовательной сфере требует тщательного рассмотрения вопросов, касающихся права на образование и уважения к личности. Важно, чтобы внедрение ИИ способствовало развитию студентов как личностей, а не сводило их обучение к механическому процессу.

Необходимо также учитывать вопросы юридического регулирования. Разработка законодательных норм и стандартов, регулирующих применение ИИ в образовании, поможет предотвратить злоупотребления и обеспечить защиту прав всех участников образовательного процесса. Это включает не только студентов и преподавателей, но и разработчиков технологий ИИ.

На сегодняшний день существует множество нейросетей и технологий искусственного интеллекта, которые находят применение в различных сферах, включая образование. Рассмотрим некоторые из них, их преимущества и недостатки [9].

#### *Конволюционные нейросети (CNN)*

Преимущества:

1. Эффективность в обработке изображений: *CNN* отлично справляются с задачами, связанными с распознаванием и классификацией изображений.
2. Автоматическое выделение признаков: Эти сети могут автоматически выделять важные признаки из изображений, что уменьшает необходимость ручного предварительного анализа данных.

Недостатки:

1. Высокие требования к вычислительным ресурсам: Обучение *CNN* требует значительных вычислительных мощностей и времени.
2. Большие объемы данных: Для достижения высокой точности необходимы большие объемы данных для обучения.

#### *Рекуррентные нейросети (RNN) и их модификации (LSTM, GRU)*

Преимущества:

1. Работа с последовательными данными: *RNN* и их модификации эффективны для обработки последовательных данных, таких как тексты и временные ряды.
2. Долговременная память: *LSTM* и *GRU* могут сохранять информацию на длительные промежутки времени, что позволяет учитывать контекст предыдущих шагов при прогнозировании.

Недостатки:

1. Проблема исчезающего градиента: Стандартные *RNN* подвержены проблеме исчезающего градиента, что затрудняет обучение долгосрочных зависимостей.
2. Сложность в обучении: *RNN* и их модификации сложнее в обучении и требуют тщательной настройки гиперпараметров.

#### *Трансформеры (Transformers)*

Преимущества:

1. Параллельное обучение: Трансформеры могут обучаться параллельно, что значительно ускоряет процесс обучения по сравнению с *RNN*.

2. Масштабируемость: Эти модели хорошо масштабируются на большие данные и могут обрабатывать большие объемы информации.

Недостатки:

1. Высокие требования к памяти: Обучение трансформеров требует значительных объемов памяти и вычислительных ресурсов.

2. Сложность архитектуры: Архитектура трансформеров сложна и требует значительных усилий для настройки и оптимизации.

*Генеративно-состязательные сети (GAN)*

Преимущества:

1. Создание реалистичных данных: *GAN* могут генерировать реалистичные данные, такие как изображения, тексты и аудио.

2. Улучшение качества данных: Эти модели могут использоваться для улучшения качества данных путем генерации новых примеров и устранения шума.

Недостатки:

1. Сложность в обучении: *GAN* сложны в обучении и часто подвержены нестабильности.

2. Трудности в оценке качества: Оценка качества сгенерированных данных может быть субъективной и требует дополнительных метрик.

*Глубокие нейронные сети (DNN)*

Преимущества:

1. Универсальность: *DNN* могут применяться для решения широкого спектра задач, включая классификацию, регрессию и кластеризацию.

2. Гибкость архитектуры: Эти сети могут иметь различную глубину и сложность, что позволяет адаптировать их к конкретным задачам.

Недостатки:

1. Требования к данным: для достижения высокой точности *DNN* требуют больших объемов обучающих данных.

2. Проблема переобучения: Глубокие сети склонны к переобучению, если данные не сбалансированы или недостаточно разнообразны [10].

## **Заключение**

Применение технологий искусственного интеллекта в образовательной деятельности открывает новые возможности для улучшения качества образования, повышения успеваемости студентов и предоставления персонализированной поддержки. Однако для полноценного использования потенциала ИИ необходимо учитывать вызовы и этические аспекты, обеспечивая баланс между инновациями и ответственным подходом к их внедрению.

## **Список использованных источников**

1. Краснов А.В. Искусственный интеллект: теория и практика : учебник для вузов. – Москва : Юрайт, 2019. – 352 с.

2. Смирнова И.В. Нейросети и их применение : монография. – Санкт-Петербург : Питер, 2020. – 288 с.

3. Петров В.И. Машинное обучение и искусственный интеллект : учебник для вузов. – Москва : Академический проект, 2018. – 320 с.

4. Иванова Е.А. Нейронные сети и их применение в различных областях : монография. – Москва : Юрайт, 2017. – 256 с.

5. Сидорова Н.В. Искусственный интеллект в медицине : учебник для вузов. – Москва : Академический проект, 2021. – 280 с.

6. Михайлов С.А. Алгоритмы машинного обучения : учебник для вузов. – Москва : Юрайт, 2016. – 264 с.

7. Федорова А.Н. Нейросети и их применение в образовании : монография. – Москва : Академический проект, 2020. – 256 с.

8. Борисова М.В. Применение нейросетей в финансовой сфере : монография. – Санкт-Петербург : Питер, 2019. – 272 с.

9. Кузнецов Д.С. Искусственный интеллект и его применение в автоматизации : учебник для вузов. – Москва : Юрайт, 2017. – 288 с.

10. Горшкова Л.И. Искусственный интеллект в промышленности : учебник для вузов. – Москва : Юрайт, 2018. – 320 с.

# ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Кологоров И.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»,  
e-mail: ikologor.com@gmail.com

## Введение

В цифровом веке существует огромный массив данных, который напрямую влияет и помогает людям во время образовательных, и не только, процессов. Помимо этого, улучшение и изучение технологий влечёт за собой также и развитие искусственного интеллекта [1].

Искусственный интеллект (далее – ИИ) постепенно проникает во все сферы нашей жизни от военной сферы до простых покупок в магазине [2]. Таким образом, разберём, как ИИ воздействует на образовательные процессы. В работе отметим основные преимущества и недостатки внедрения ИИ.

## Основная часть

ИИ вызывает множество вопросов, связанных с его потенциальными недостатками и ограничениями. Для более детального понимания ниже представлена таблица 1, в которой перечислены основные положительные и отрицательные стороны использования ИИ в образовании.

Таблица 1

*ИИ в образовательном процессе*

Преимущества	Недостатки
Большое количество данных	Недостоверность данных
Высокая производительность	Юридические вопросы
Доступность ресурсов	Этические вопросы
Разносторонность	Отсутствие самостоятельности

На основе таблицы 1, которая представлена выше, рассмотрим каждый пункт подробнее.

### *Большое количество данных*

ИИ способен обрабатывать огромные массивы данных, которые в образовании помогают анализировать успеваемость студентов, выявлять их слабые места и предлагать способы для их улучшения. На основе анализа данных можно создать персонализированные программы обучения, соответствующие индивидуальным потребностям каждого ученика. Это особенно полезно в образовательных учреждениях, где работают с большими группами студентов [3]. Кроме того, данные можно использовать для предсказания потенциальных проблем, таких как риск отсева или плохая успеваемость, и предлагать меры по их устранению.

### *Высокая производительность*

ИИ может выполнять задачи, требующие больших затрат времени и ресурсов, с высокой точностью и скоростью. Например, проверка тестов, оценка письменных работ и даже выполнение некоторых административных задач (таких как составление расписания или объединение студентов в группы) могут быть полностью автоматизированы [4]. Это снижает нагрузку на преподавателей и персонал, позволяя им сосредоточиться на более творческих аспектах образовательного процесса и уделять больше времени каждому студенту.

### *Доступность ресурсов*

Системы на базе ИИ обеспечивают доступ к образовательным материалам и курсам 24/7. Это особенно важно для студентов, которые не могут посещать занятия в традиционном формате. Благодаря ИИ, студенты могут учиться в удобное для них время и в удобном для них месте, что способствует большему охвату обучающихся и расширению образовательных возможностей для людей с ограниченными возможностями, жителей отдалённых районов или тех, кто совмещает обучение с работой.

### *Разносторонность*

Искусственный интеллект может быть применен в самых разных аспектах образования: от начальных классов до специализированных программ для взрослых. ИИ можно использовать в обучении языкам, математике, наукам и искусствам, при этом подходы могут быть адаптированы к разным возрастным группам и уровням подготовки. Универсальность ИИ также позволяет применять его в



профессиональном обучении и повышении квалификации сотрудников различных компаний [5].

#### *Недостоверность данных*

Хотя ИИ обрабатывает огромные массивы данных, он зависит от качества этих данных. Если данные, на которых основан ИИ, неполные или содержат ошибки, это может привести к неверным выводам и рекомендациям. Кроме того, даже самые современные алгоритмы ИИ могут ошибаться при анализе данных, что потенциально может навредить обучению студентов.

#### *Юридические вопросы*

Использование ИИ в образовании связано с вопросами конфиденциальности и защиты данных. Образовательные учреждения должны соблюдать законы о защите данных, такие как № 152-ФЗ «О персональных данных», чтобы обеспечить безопасность и конфиденциальность информации об учащих. Хранение больших массивов данных о каждом учащемся может быть рискованным, особенно в случае кибератак или утечки данных.

#### *Этические вопросы*

Алгоритмы ИИ могут быть предвзятыми, если они обучены на данных, содержащих не подтверждённые факты. Это может привести к тому, что определённые группы студентов будут получать неверные рекомендации или оценки. Кроме того, этические вопросы включают возможные психологические эффекты: например, если студент получает отрицательную обратную связь от ИИ, это может негативно повлиять на его мотивацию и самооценку.

#### *Отсутствие самостоятельности*

Чрезмерное использование ИИ может снизить у студентов мотивацию к самостоятельному обучению и осмыслению информации [6]. Если студенты полагаются только на ИИ для получения ответов и рекомендаций, они могут упустить развитие навыков критического мышления и самостоятельного решения проблем. Это также касается преподавателей, которые могут утратить навыки анализа и решения сложных задач из-за зависимости от ИИ.

## **Заключение**

Внедрение искусственного интеллекта в образовательный процесс открывает огромные перспективы для персонализации и повышения эффективности обучения. Однако важным является осознание и решение потенциальных проблем, связанных с использованием ИИ, таких как вопросы конфиденциальности, этики и доступности. Основная задача заключается в том, чтобы найти баланс между преимуществами ИИ и минимизацией его недостатков, что позволит создать максимально эффективную и инклюзивную образовательную среду.

## **Список использованных источников**

1. Чулюков В.А., Дубов В.М. Искусственный интеллект и будущее образования // Современное педагогическое образование. – 2020. – № 3. – С. 27–31.
2. Пырнова О.А., Зарипова Р.С. Технологии искусственного интеллекта в образовании // Russian Journal of Education and Psychology. – 2019. – Т. 10. – № 3. – С. 41–44.
3. Елтунова И.Б., Нестеров А.С. Использование алгоритмов искусственного интеллекта в образовании // Современное педагогическое образование. – 2021. – № 11. – С. 150–154.
4. Брызгалина Е.В. Искусственный интеллект в образовании. Анализ целей внедрения // Человек. – 2021. – Т. 32. – № 2. – С. 9–29.
5. Родионов О.В., Тамп Н.В. Технологии искусственного интеллекта в образовании // Воздушно-космические силы. Теория и практика. – 2022. – № 22. – С. 64–74.
6. Константинова Л.В. и др. Генеративный искусственный интеллект в образовании: дискуссии и прогнозы // Открытое образование. – 2023. – Т. 27. – № 2. – С. 36–48.

## ВОЗМОЖНОСТИ СЕРВИСА UNISLIDE ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУЛЬНЫХ КВИЗОВ

*Котова И.Е.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> МБУ ДО «Центр дополнительного образования «Одаренность», e-mail: irinakot91@mail.ru

### **Введение**

В настоящее время в современной образовательной среде обучаются школьники, которые значительно отличаются от предыдущего поколения. Их социализация проходит в условиях стремительного внедрения цифровых технологий, что накладывает отпечаток на индивидуальные психологические характеристики, эмоциональную сферу, знания, умения и навыки. Для организации качественного образовательного и воспитательного процесса необходимо учитывать специфику современных детей и подростков. Необходимо понимать, что активная цифровизация в учебных заведениях – это неотъемлемая составляющая часть современного российского образования.

В век стремительного развития технологий, для наших детей искусственный интеллект становится всё более значимой частью их жизни. Уже с малых лет они взаимодействуют с электронными устройствами, которые оснащены искусственным интеллектом.

Школьников все больше привлекает интерактив. Интерактивные презентации в образовании – это современный способ представления информации, который позволяет вовлечь учеников в процесс обучения и повысить их мотивацию. И мы предлагаем рассмотреть возможности российской интерактивной платформы Unislide, которая предназначена для создания интерактивных презентаций, проведения опросов и викторин, квизов.

### **Описание алгоритма**

Еще недавно педагоги активно использовали известные платформы такие, как: Kahoot, Quizizz, Classtime. Платформа «Unislide» – цифровой ресурс на основе сочетания традиционного и новаторского подходов. Это отечественный инструмент, который совмещает в себе возможности создания интерактивной презентации, которую вы можете транслировать обучаемым вживую или проводить дистанционное обучение, а также обеспечить обратную связь с помощью опросов, тестов или викторин.

В арсенале данной платформы множество шаблонов, анимаций и интересных интерактивных элементов.

Основные функции сервиса:

- Создание слайдов.
- Добавление интерактивности. Слайды можно сделать интерактивными, добавив к ним вопросы, задачи, задания и другие элементы взаимодействия. Это позволит вовлечь аудиторию в процесс обучения или презентации.
- Настройка анимации. Можно настроить анимацию для всех элементов слайда или только для отдельных. Анимация сделает презентацию более наглядной и яркой.
- Экспорт презентации. Презентацию можно экспортировать в виде различных форматов файла PDF, PPTX или HTML. Экспортированный файл можно открыть на любом устройстве и в любом браузере.

С сервисом работать очень просто. Первое и самое главное преимущество – это русскоязычный интерфейс.

Мы знаем, что 2023-й вошел в историю как год искусственного интеллекта (далее – ИИ), который прочно вошел в повседневную жизнь каждого человека.

Большим преимуществом платформы Юнислайд перед другими платформами является использование ИИ не только при создании информационных слайдов, но и слайдов с опросами или тестами. Достаточно вставить ключевые слова, обозначить тему, далее выбрать тип задания. Например, с помощью ИИ можно создать квиз или викторину, не имея специальных навыков, при этом затрачивая минимум времени.

ИИ помогает облегчить педагогу работу на платформе:

- Автоматическое создание структуры презентации. ИИ может проанализировать учебный план или тему и предложить структуру презентации, которая будет соответствовать целям обучения.

- Автоматическая генерация контента. ИИ может генерировать текст, изображения, видео и другие элементы презентации на основе заданных параметров.
- Проверка знаний. ИИ может задавать вопросы, задачи и задания, которые помогут ученикам проверить свои знания и понять, что они усвоили из презентации.
- Анализ результатов. ИИ может отслеживать результаты учеников после просмотра презентации и предоставлять педагогу обратную связь.
- Оптимизация дизайна. ИИ может оптимизировать дизайн презентации, чтобы она была более привлекательной и понятной для учеников.

Использование искусственного интеллекта на платформе может значительно улучшить качество образования и сделать процесс обучения более интересным и эффективным.

Для разработки интерактивной презентации интеллектуального квиза с использованием сервиса необходимо пройти регистрацию. После открытия аккаунта вы получаете доступ в кабинет, в котором есть вкладки презентация, шаблоны и помощь. Чтобы создать презентацию, необходимо нажать на кнопку «Новая презентация». Затем выбрать слайд, сформировать его содержание. Можно вставить в слайд изображение, видео, аудиофайл.

Есть несколько видов слайдов:

- слайд «Вопрос с вариантами ответов» - где может быть любое количество вариантов ответов;
- слайд «Открытый вопрос», где ответ формулируют сами участники;
- слайд «Правильный порядок», где варианты ответов уже даны, но их нужно расположить в нужном порядке;
- слайд «Опрос с выбором варианта ответа», что позволяет увидеть распределение голосов;
- слайд «Облако тегов». Здесь открытый вопрос, где все ответы выводятся на экран.

Также каждому слайду можно настроить время, отведенное на каждый вопрос, а также настроить таймер обратного отсчета. Можно настроить демонстрацию таблицы очков на следующем слайде

В режиме редактирования презентации доступен предпросмотр финального результата. Чтобы сгенерировать слайды при помощи ИИ необходимо нажать кнопку «Запустить», чтобы начать презентацию. Подключиться к презентации можно несколькими способами:

- отсканировать QR-код с помощью камеры своего гаджета;
- перейти на сайт и ввести уникальный код презентации.

## **Заключение**

Подводя итог, можно отметить, что сервис Unislide это удобный инструмент, которая обладает рядом преимуществ:

- онлайн работа;
- имеет редкий тип вопросов – установление правильной последовательности;
- можно добавлять аудиофайлы;
- возможность скачать результаты для обработки в оффлайн режиме;
- прохождение квиза, викторины в любое удобное время;
- возможность встроить в личный сайт;
- неограниченное количество участников;
- использовать различные форматы вопросов и опросов;
- генерация слайдов при помощи ИИ.

Но наряду с положительными сторонами, есть и отрицательные:

- участнику нельзя изменить ответ;
- создавать ограниченного количества слайдов в бесплатной версии.

Но, в целом, такие интерактивные презентации в образовательном процессе помогают сделать учебный процесс более динамичным, интересным и эффективным. Это также помогает улучшить мотивацию учащихся, увеличить интерес к учебному процессу и повысить эффективность обучения.

## **Список использованных источников**

1. Вайндорф-Сысоева М.Е. Педагогика: пособие для сдачи экзаменов. – М. : Юрайт-Издат, 2013. – 239 с.
2. Вайндорф-Сысоева М.Е. Методика дистанционного обучения: учебное пособие для вузов. – М. : Издательство Юрайт, 2020. 194 с.
3. Полат Е.С. Педагогические технологии дистанционного обучения. – М. : Издательство Юрайт, 2020. – 392 с.

## АДАПТИВНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПЛАТФОРМЫ В ОБРАЗОВАНИИ

Никулин А.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ,  
г. Санкт-Петербург, nikulin.avxentii@gmail.com

### Введение

Хотя ИИ становится все более распространенным, педагоги все еще пытаются понять, как эффективно интегрировать эти технологии в практику обучения. Многие педагоги сообщают об использовании инструментов ИИ, особенно молодые учителя, хотя есть опасения по поводу чрезмерной зависимости от технологий. С развитием технологий и увеличением объема информации, которую необходимо усвоить, традиционные подходы к обучению больше не способны удовлетворить потребности современных студентов. В этом контексте адаптивные образовательные платформы с использованием искусственного интеллекта (ИИ) становятся все более актуальными и востребованными. Эти системы, основанные на алгоритмах машинного обучения, предлагают инновационные методы обучения, позволяя создать индивидуализированное образовательное пространство для каждого учащегося.

### Основная часть

Адаптивные образовательные платформы — это системы, которые анализируют данные о пользователях и подстраивают образовательный контент под их нужды, уровень подготовки и стиль усвоения информации. Такие платформы могут использовать различные формы обучающих материалов, включая тексты, видео, тесты и интерактивные задания, что значительно увеличивает вовлеченность студентов в процесс обучения [1].

Искусственный интеллект играет ключевую роль в адаптивных образовательных платформах. Он обеспечивает возможность анализа больших объемов данных о поведении студентов, их успехах и проблемах, что позволяет создавать персонализированные планы обучения [2].

Некоторые из основных потенциальных преимуществ ИИ в образовании включают:

Персонализация контента:

Искусственный интеллект анализирует предпочтения и результаты учащихся, предлагая материалы, которые максимально соответствуют их интересам и уровню знаний. Эта персонализация позволяет избежать разочарования от слишком сложных или слишком легких заданий;

Обратная связь в реальном времени:

ИИ может предоставлять студентам мгновенную обратную связь по их достижениям и выполнять диагностику их слабых мест. Это позволяет учащимся быстрее осваивать трудные темы и более эффективно распределять время на обучение;

Анализ успеха и прогнозирование:

Адаптивные платформы используют алгоритмы предсказания, чтобы оценить вероятность успешности студента в будущем. Это позволяет не только выявлять тех, кто нуждается в дополнительной помощи, но и предлагать им специальные учебные материалы или даже варианты дополнительного обучения;

Интерактивные и геймификационные элементы:

Искусственный интеллект может помогать в создании интерактивных заданий, использующих элементы геймификации, что делает процесс обучения более увлекательным и мотивирующим. Испытания и конкурсы могут активно стимулировать учащихся к более глубокому изучению предмета [2].

Некоторые известные образовательные платформы уже активно используют технологии ИИ. Например:

– *Khan Academy* предлагает адаптивные упражнения, которые подстраиваются под уровень знаний и прогресс студента, а также другие полезные для образования функции – генератор оценочных критериев, *GPT-4* чат бот, который проведет обучаемого через процесс решения и задаст вопросы, чтобы он мог разобраться в нем самостоятельно, а не просто получить ответ.

– *Duolingo* использует модель ИИ *Birdbrain* для адаптации уроков по изучению языков, основываясь на успехах и ошибках пользователей. Модель *Birdbrain* непрерывно изучает как то, насколько хорошо наши ученики знают, так и уровень сложности различных видов языкового материала, который мы преподаем. Собирая эти части вместе, *Birdbrain* делает обоснованное предположение о том, сможет ли ученик правильно выполнить данное упражнение.

– Coursera и edX внедряют элементы ИИ для персонализации курсов и предоставления рекомендаций. Адаптивные образовательные платформы на основе ИИ представляют собой сложные системы, использующие различные технологии и алгоритмы для персонализации обучения. Рассмотрим ключевые компоненты и технологии, на которых они основываются.

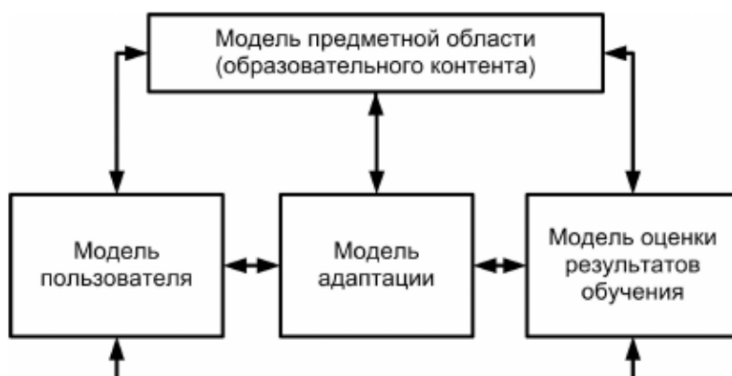


Рис. 1. Структурная схема адаптивной системы образования

Адаптивные платформы функционируют на основе больших объемов данных, которые могут включать:

- Профили обучающихся: информация о предшествующем образовании, уровне подготовки, предпочтениях в обучении и т.д.;
- Данные об обучении: результаты тестов, время, затраченное на уроки, уровень вовлеченности;
- Фидбек: обратная связь от студентов и преподавателей о процессе обучения.

На основе собранных данных используются алгоритмы машинного обучения для:

- Анализа данных: выявление закономерностей и предпочтений в поведении студентов;
- Прогнозирования успеха: оценка вероятности успеха студента в определенных темах или с определенными задачами;
- Персонализации контента: формирование индивидуального учебного плана с учетом предпочтений и успеваемости студента [4].

Несмотря на большое количество преимуществ, внедрение адаптивных образовательных платформ на основе ИИ сталкивается с несколькими трудностями:

– Технические проблемы: создание и поддержка сложных алгоритмов машинного обучения требует значительных ресурсов. Платформы должны быть способны обрабатывать большие объемы данных и обеспечивать быструю обратную связь, что может быть затруднительно без надлежащей инфраструктуры.

– Квалификация преподавателей: учителя и преподаватели должны быть подготовлены к работе с новыми технологиями. Некоторые могут испытывать трудности в освоении платформ, что может препятствовать их эффективности. Также необходимо учитывать, что некоторые преподаватели могут скептически относиться к замене традиционных методов обучения новыми, основанными на ИИ.

– Неравномерный доступ к технологиям: в некоторых регионах или учреждениях может не быть достаточного доступа к технологиям и интернету, что приводит к цифровому разрыву. Это может стать препятствием для равного доступа к качественному образованию.

– Проблемы с данными: для того, чтобы ИИ работал эффективно, необходимо собирать и анализировать большие объемы данных о студентах. Это может вызвать сложности, связанные с безопасностью хранения данных и конфиденциальностью информации. Другой важной темой является возможность создания зависимости у студентов от цифровых технологий. ИИ не должен полностью заменять человеческий фактор в обучении — роль учителей и менторов остаётся критически важной для эффективного процесса образования [4].

### Заключение

Искусственный интеллект в адаптивных образовательных платформах представляет собой мощный инструмент, который может значительно улучшить качество обучения, сделав его более индиви-

дуальным и эффективным. Тем не менее, успешная интеграция технологий ИИ в образовательный процесс требует внимания к этическим вопросам и соблюдения мер по защите данных. В будущем можно ожидать, что такие платформы будут продолжать развиваться, открывая новые горизонты для образования и подготавливая студентов к вызовам современного мира. Однако для успешного их внедрения необходимо решить множество технических проблем.

#### **Список использованных источников**

1. Artificial Intelligence In Education: Teachers' Opinions On AI In The Classroom // Forbes : сайт. – 2024.
2. Кухтина Я.В., Филипская А.В. Адаптивное обучение студентов вузов в системе электронной образовательной среды // Современное педагогическое образование, 2022.
3. Уваров А.Ю., Фруммин И.Д. Трудности и перспективы цифровой трансформации образования // М. : НИУ ВШЭ, 2019. – 344 с.
4. Кречетов И.А., Романенко В.В. Реализация методов адаптивного обучения // Вопросы образования. – 2020. – №2. – С. 252-277.

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ: ВОЗМОЖНОСТИ, ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*Орлова Т.С.*

*Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия  
им. А. Л. Штиглица, e-mail: ots\_prof3@mail.ru*

## **Введение**

Современные поисковые системы уже способны предоставлять миллионы ответов на любой запрос в течение считанных секунд, а развитие нейросетевых технологий позволяет автоматизировать решение математических уравнений и создание текстовых материалов.

Министерство просвещения Российской Федерации предлагает интегрировать цифровые инструменты в школьный процесс, например, использование искусственного интеллекта для проверки домашних заданий и подготовки отчётных документов. Однако, это порождает опасения среди педагогов, связанные с возможностью увеличения числа случаев списывания и снижения обучаемости учащихся, поскольку выполнение заданий за них может брать на себя технология.

Проблематика внедрения искусственного интеллекта в образовательный процесс требует комплексного подхода, включающего не только технологическую адаптацию, но и методическую разработку мер, направленных на сохранение активной учебной деятельности учащихся. Важно разработать стратегии, которые помогут педагогам не только адаптироваться к изменениям, но и эффективно использовать новые технологии для повышения качества образования.

## **Постановка проблемы**

Анализ статистических данных из высших учебных заведений Соединённых Штатов демонстрирует значительное проникновение искусственного интеллекта в сферу образования, что указывает на его возрастающую роль в этом секторе. Эмпирические данные свидетельствуют о том, что большинство респондентов (90 %) признают преимущества использования систем, основанных на искусственном интеллекте, таких как ChatGPT, по сравнению с традиционными методами репетиторства. Подавляющее большинство опрошенных (91 %) выразили удовлетворение индивидуальной поддержкой, предоставляемой чат-ботами [3].

Кроме того, искусственный интеллект облегчает создание дополнительных учебных материалов и осуществление проверки тестов с выбором ответа, что снижает нагрузку рутинной работы на педагогов. Использование искусственного интеллекта для прогнозирования успеваемости студентов с точностью до 80 % способствовало повышению образовательных результатов 34 712 студентов, согласно данным американских колледжей. Эти результаты подчёркивают значимость интеграции искусственного интеллекта в образовательные процессы.

Исследование, проведенное Skillbox и Anketolog.ru, демонстрирует интерес студентов крупных городов России к интеграции искусственного интеллекта в учебный процесс. Более 40 % опрошенных выразили желание использовать дополнительные учебные материалы, рекомендованные ИИ, а также автоматически сгенерированные конспекты семинаров [4].

Студенты оценивают применение нейросетевых технологий для разработки презентаций, геймификации образовательного процесса и визуализации условий задач в формате дополненной реальности как положительное нововведение. Отмечается также, что каждый третий респондент заинтересован во взаимодействии с роботом-ассистентом на территории образовательного учреждения, который мог бы не только помочь найти нужную аудиторию, но и предоставить психологическую поддержку или оказать первую медицинскую помощь при необходимости. Эти данные подчеркивают стремление к углублению интеграции искусственного интеллекта в академическую среду и расширению его функциональных возможностей.

Замена традиционных преподавательских методов роботизированными системами не представляется возможной (по крайней мере, в ближайшем будущем), поскольку обучение включает не только передачу информации, но также и взаимодействие на эмоциональном и личностном уровнях. Тем не менее, современные AI-технологии уже сейчас активно assistируют педагогам в организации учебных процессов. В этом обзоре мы рассмотрим примеры применения искусственного интеллекта в образовательной сфере, что подчеркивает значимость его интеграции в преподавательскую деятельность.

## Существующая практика

Несмотря на то, что технологии нейросетей находятся в стадии развития, их применение постепенно входит в практику образовательных систем. В России отсутствует специализированное законодательство, регулирующее внедрение искусственного интеллекта в образовательную сферу, и в настоящее время подобные инициативы носят скорее рекомендательный характер. Тем не менее, уже доступны технологические возможности использования ИИ для разработки учебных планов, проведения презентаций, автоматизации выставления оценок, а также адаптации учебных материалов в соответствии с начальным уровнем знаний и способностями каждого ученика. Пока в России не ведется систематическое внедрение ИИ в школьные учебные заведения, достижения в области цифровых технологий активно используются сейчас.

Примеры применения нейросетей для обучения:

- помощь нейросетей ученикам в написании рефератов, эссе, сочинений;
- автоматизация рутинных задач для учителей – проверка домашних заданий, оценивание тестов, создание учебных планов;
- чат-боты и виртуальные ассистенты в онлайн-школах;
- интерактивные репетиторы и онлайн-переводчики;
- обучающие онлайн-игры и симуляторы;
- компьютерное 3D-моделирование реальности;
- помощь в усвоении материала учащимся с ограниченными возможностями;
- самообразование на виртуальных платформах.

Интегрируются AI-технологии и в администрирование учебных заведений. Автоматические системы отслеживают посещаемость учеников, следят за общей успеваемостью, передают данные об обстановке в кабинетах, температуре воздуха, освещении, работоспособности систем оповещения. Интересные факты Искусственный интеллект в образовании уже не редкость, а распространенная технология. Один из первых шагов в этой области был сделан еще в 1980-х годах, когда начали разрабатывать программы для автоматизации обучения. Теперь адаптивные образовательные системы способны значительно сократить время на изучение материала, поскольку подстраиваются под темп каждого обучающегося [1].

Пока в Европе и США задумываются о внедрении достижений IT-технологий в общеобразовательную систему, В Китае ИИ используется для анализа не только поведения, но даже эмоционального состояния учеников во время занятий. Это позволяет преподавателям получать более полную картину успеваемости и вовлеченности каждого ученика.

Также 2023 году Coursera расширила свои партнерства с несколькими престижными учебными заведениями США, включая Вашингтонский университет и Университет Дьюка. Благодаря этому сотрудничеству студенты получили возможность погружения в виртуальную реальность для освоения китайского языка, навыков публичных выступлений и изучения физиологии. Одной из популярных и простых в использовании VR-платформ стала Google Expeditions, которая позволяет в интерактивном режиме исследовать различные уголки мира, в том числе музейные экспозиции, для более полного понимания локальной культуры и географии. VR-технологии, например, виртуальные мастерские, могут помочь развивать профессиональные навыки или предоставить возможность виртуально посещать выставки, исследовать новые города или даже недоступные обычно объекты, не покидая домашний уют.

VR-технологии могут быть полезны в организации образовательных занятий в виртуальной реальности: необходимо просто выбрать место, которое лучше всего соответствует теме урока, чтобы углубить понимание материала и увеличить вовлечённость студентов.

Одним из лидеров в области развития ИИ является компания Google, которая весной 2024 года представила новую серию моделей на базе технологии Gemini, получившую название LearnLM. Эта разработка оказалась настолько значимой, что заслужила особое внимание как новаторский тренд в образовательной области. LearnLM предлагает радикально новые подходы к обучению, предоставляя уникальные возможности для пересмотра традиционных образовательных практик.

LearnLM представляет собой не просто усовершенствованную языковую модель, характеризующуюся высокой точностью, скоростью и минимизированным риском некорректных выводов, но также интегрирует в себя множество ИИ-ориентированных сервисов и технологий в комплексную систему.



## **Заключение**

Внедрение технологий искусственного интеллекта в образовательный процесс позволяет повысить эффективность учебного процесса и индивидуализировать подход к обучению каждого студента. Однако, несмотря на положительное восприятие ИИ, существует опасение, что его использование может снизить активность учебной деятельности и способствовать списыванию. Эти опасения требуют разработки методических подходов для эффективной интеграции ИИ, сохраняя активное участие учащихся в процессе обучения. Отсутствие специализированного законодательства в России, регулирующего использование ИИ в образовании делает текущие инициативы скорее рекомендательными, хотя технологические возможности уже позволяют использовать ИИ для различных аспектов учебного процесса. Это, например, административная работа в учебных заведениях.

## **Список использованных источников**

1. Алтухова Е.В. Наука и высшее образование в системе цифровизации экономики. В кн.: Национальные экономики в условиях глобальных и локальных трансформаций: сборник статей международной научно-практической конференции, Москва, 23–28 октября 2018 г. – М. : НИИ ИЭП, 2018. – С. 7–10.
2. Зиновьева Е., Трапезников В. Нейросети и генеративный ИИ в высшем образовании: международный опыт и российская практика [Электронный ресурс] // РСМД. Режим доступа: [https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/neyroseti-generativnyu-ii-v-vysshem-obrazovanii-mezhdunarodnyu-opyt-i-rossiyskaya-praktika/?sphrase\\_id=153572900](https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/neyroseti-generativnyu-ii-v-vysshem-obrazovanii-mezhdunarodnyu-opyt-i-rossiyskaya-praktika/?sphrase_id=153572900) (дата обращения: 14.10.2024).
3. ИИ в образовании: статистика, внедрение, преимущества, проблемы // VirtRe : сайт. – 2024. – URL: <https://virtre.ru/articles/artificial-intelligence/ii-v-obrazovanii-statistika-vnedrenie-preimushhestva-problemy>
4. ИИ в жизни студентов // Анкетолог : сайт. – 2024. – URL: <https://iom.anketolog.ru/2024/09/03/ii-v-zhizni-studentov>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*Коржнева Т.Г.<sup>1</sup>, Туранов С.Б.<sup>2</sup>, Толкачева К.П.<sup>3</sup>, Полисадова Е.Ф.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент, e-mail: korzhneva@tpu.ru

<sup>2</sup> НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент, e-mail: turanov\_sb@tpu.ru

<sup>3</sup> НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент, e-mail: tkp@tpu.ru

<sup>4</sup> НИ ТПУ, ИШНПТ, профессор, e-mail: elp@tpu.ru

### Введение

Современное образование требует внедрения инновационных технологий, способствующих повышению качества обучения. Одним из перспективных направлений является использование нейросетей для организации лабораторных и практических работ. Нейросети, как часть искусственного интеллекта, способны выполнять широкий спектр задач в том числе обрабатывать и визуализировать данные. Это помогает студентам лучше понять результаты своих изысканий и выявить закономерности, которые могут быть неочевидны при простом анализе.

В данной работе рассматриваются методологии и варианты использования искусственного интеллекта в процессе создания лабораторных и практических работ на примере образовательной программы «Оптотехника». Необходимо оценить возможность использования нейросетей как вспомогательного инструмента в формировании профессиональных компетенций и творческого мышления, в обучение командному взаимодействию в образовательной среде. Современные требования к светотехническому дизайну разноплановых объектов диктуют необходимость интенсификации процесса проектирования, с сохранением качества и соблюдением технических норм. Актуальной задачей является анализ релевантности технологий искусственного интеллекта в инженерной деятельности, связанной с творческими аспектами. Целью работы является исследование потенциала технологий генерации текста в изображение, позволяющих быстро создавать различные варианты на основе уже существующих дизайнов, в концептуальном инженерном проектировании и оценка границ их применимости.

### Описание методики

Концептуальное проектирование является одной из ключевых стадий в инженерной деятельности, которая требует не только технических навыков, но и креативного мышления. Процесс генерации концепции должен учитывать множество критериев, таких как актуальность, стоимость, эстетика, эргономика, функциональность, способ производства и утилизации. Основная задача концептуального проектирования заключается в создании решения, которое уравнивает эти критерии.

На начальной стадии проектирования происходит выработка массива вариантов, а также принимаются решения, определяющие последующий облик и показывающие принцип закладываемой логики и функционала. Процесс проектирования часто включает в себя множество итераций, где идеи могут изменяться и развиваться.

Традиционные процессы проектирования и инженерии ориентированы на человека и требуют его экспертных знаний, включающих научные, интуитивные, экспериментальные и творческие методы. В этом контексте генерация текста в изображение становится особенно полезной, так как она позволяет визуализировать идеи на ранних этапах проектирования, упрощая коммуникацию и ускоряя процесс принятия решений.

Генеративные модели искусственного интеллекта (ИИ) пережили весьма динамичное развитие в нескольких областях в последние годы. ИИ – это общее название компьютерных алгоритмов, которые имитируют умственные процессы или действия [1-2]. В частности, модели ИИ Text-to-Image стали значимым событием в 2022 году, радикально изменив графический дизайн и визуальные дисциплины. Хотя развитие данного направления находится на ранних стадиях, инженерные приложения на основе ИИ уже позволяют работать с неоднозначными параметрами проектирования и решать сложные инженерные проблемы, что меняет традиционные подходы к инженерному проектированию, ориентированные на человека. Тем не менее, являясь совсем новой технологией, модели ИИ Text-to-Image слабо изучены с академической точки зрения и практически не внедрены в реальные сектора экономики, в частности – в образование [3-5].

Преимуществом использования генерации текста в изображение является возможность визуализации идей на ранних этапах проектирования. Технология позволяет быстро получить изображения, которые можно использовать для презентаций, обсуждений и сбора отзывов. Это особенно полезно в междисциплинарных командах, где важно донести идею, обойтись без сложных графических редакторов и уделить больше времени обсуждению концепций. Вторым значительным аспектом является возможность создания нестандартных решений и расширению креативности. Генеративные модели могут предложить неожиданные вариации, которые проектировщик, возможно, не рассматривал. Это открывает новые возможности и может привести к созданию уникальных инженерных концептов.

### Применение модели ИИ Text-to-Image

Внедрение нейросетей в образовательный процесс, связанный с необходимостью проектирования, является важной и перспективной задачей. Как пример ее решения, рассмотрим один из учебных кейсов практического применения модели ИИ Text-to-Image в дисциплинах направления «Оптотехника» для выполнения исследовательских задач концептуального проектирования.

Общий процесс работы можно описать следующей последовательностью: на начальном этапе группа/студент определяет задачу и формулирует ключевые требования. На основе полученной информации студенты формируют промпт (текстовый запрос к нейросети на создание изображения). Используя доступные генеративные нейросети создают изображения, которые служат основой для обсуждения. Команда оценивает полученные концепты на предмет их соответствия входным требованиям и заданию преподавателя и моделируют их в профильном ПО, получая уникальный результат.

На практике это работает следующим образом, в рамках дисциплины «Введение в светодизайн» (магистратура) студенты исследуют и проектируют компоненты светопрозрачной структуры городской среды, к которым, в частности, относятся малые архитектурные формы. Студенты выполняют итоговую расчетно-графическую работу в подгруппах, изучая опыт создания современной световой среды пешеходных пространств города и выполняя разработку структур конкретной цветоцветовой среды.

Направлением обсуждения одной из подгрупп по практической работе «Разработка светового прибора/инсталляции/архитектурной формы для общественного городского пространства» было витражная техника в стиле испанского архитектора Антонио Гауди. Результаты генерации (рис. 1) позволили получить фотореалистичные изображения, которые студенты успешно использовали в своей работе для дальнейшего моделирования в профессиональном ПО. Таким образом, каждая группа выполняет работы по индивидуальному запросу, который не будет повторяться, а значит отсутствует возможность использования прошлогодних результатов.



Рис. 1. Результаты генерации текста в изображение по запросу в нейросети Midjourney

### Заключение

Внедрение нейросетей в образовательный процесс, особенно в контексте проектной деятельности, открывает новые горизонты для повышения качества, способствуют более глубокому пониманию материала и развитию практических навыков у студентов. Несмотря на существующие вызовы, потен-

циал нейросетей в образовании не вызывает сомнений и требует дальнейших исследований и разработок. Генерация идей, создание концепций, оценка, оптимизация, моделирование это потенциальное сферы применение методов искусственного интеллекта в процессах инженерного дизайна.

#### **Список использованных источников**

1. Jorge Alcaide-Marzal, Jose Antonio Diego-Mas. Computers as co-creative assistants. A comparative study on the use of text-to-image AI models for computer aided conceptual design // *Computers in Industry*. – 2025. – V. 164. – DOI: 10.1016/j.compind.2024.104168
2. Nurullah Yüksel, Hüseyin Rıza Börklü, Hüseyin Kürşad Sezer, Olcay Ersel Canyurt. Review of artificial intelligence applications in engineering design perspective // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. – 2023. – V. 118. – DOI: 10.1016/j.engappai.2022.105697.
3. Jonas Oppenlaender. The Creativity of Text-to-Image Generation // *Proceedings of the 25th International Academic Mindtrek Conference*. – 2022. – P. 192–202. – DOI: 10.1145/3569219.3569352
4. Verganti R., Vendraminelli L., Iansiti M. Innovation and design in the age of artificial intelligence // *Prod. Innov. Manage.* – 2020. – V. 37 (3). – P. 212–227. – DOI: 10.1111/jpim.12523
5. Овчаренко М.С. Перспективы применения нейронных сетей в научнопедагогической практике // *Перспективные фундаментальные исследования и научные методы: сб. ст. междун. науч. конфер. (Санкт-Петербург, август 2023)*. – СПб. : МИПИ им. Ломоносова, 2023. – С. 12–17.

# ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВЕБ-РАЗРАБОТКЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ

*Щербинин А.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ,  
г. Санкт-Петербург, *sherbinin\_7@vk.com*

## Введение

В данной статье затрагивается тема применения искусственного интеллекта (ИИ) в веб-разработке образовательных платформ. Искусственный интеллект (ИИ) становится важным инструментом в веб-разработке, в том числе для создания образовательных платформ, где требуется высокая степень адаптивности и удобства пользовательского интерфейса. ИИ, как инструмент фронтенд-разработки, позволяет автоматизировать процесс создания интерфейсов и работу по их адаптивности под определенную задачу. Исследование данного вопроса позволит разобраться, насколько применение искусственного интеллекта способно улучшить процесс разработки.

## Основная часть

Применение ИИ в веб-разработке образовательных платформ разделяется на несколько уровней:

Автоматическая генерация интерфейсов с помощью ИИ: Использование нейронных сетей и методов машинного обучения для генерации HTML/CSS-кода по визуальным макетам уже активно используется в веб-разработке. В случае образовательных платформ – это процесс автоматизации создания страниц, разделов и других элементов интерфейса.

Например, применение сверточных нейронных сетей (CNN) позволяет проводить анализ макетов и производить преобразование этих макетов в структурированный код, что значительно упрощает адаптацию интерфейса для разного типа устройств в случае массовой разработки модулей.

Оптимизация интерфейсов с помощью подкрепленного обучения: Применяя методы подкрепленного обучения становится возможным создание интерфейса, который способен адаптироваться к поведению пользователя. Такие системы способны самостоятельно обучаться при взаимодействии пользователя и платформы, предполагать желания пользователя, собирать их и корректировать интерфейс на основе полученных данных.

ИИ так же может производить оптимизацию интерфейса меняя расположение элементов, выделяя наиболее важные блоки информации или изменять навигацию под отдельного пользователя.

Генерация кода для компонентов образовательных систем: Автоматическое создание кода для различных компонентов интерфейса осуществляется использованием технологий трансформеров, например GPT-архитектуры. Это позволяет, основываясь на описаниях функционала, генерировать готовые к использованию блоки кода, что существенно ускоряет разработку образовательных приложений. Использование для этого трансформерных моделей позволило обеспечить структурную однородность и оптимизацию получаемого кода. Например, описав структуру курса на JSON или YAML, ИИ способен автоматически создать веб-страницу с необходимыми компонентами (тексты, тесты, задания), что снижает время на ручную разработку.

Интеграция ИИ в популярные фреймворки, такие как React, Vue.js и Angular делает его применение более доступным в веб-разработке. Процесс разработки ускоряется и упрощается за счет создания библиотек компонентов, которые автоматически подстраиваются под задачи пользователей.

1. React и автоматическая верстка: Системы с компонентами на базе искусственного интеллекта способны самостоятельно генерировать layout-структуры, что особенно полезно при создании систем с большим количеством страниц. <LayoutGenerator/> – компонент для React может заметно ускорить разработку сложных интерфейсов.

2. Vue.js и оптимизация контента: ИИ-интегрированные компоненты во Vue позволяют автоматически анализировать содержание учебных курсов и предлагать адаптивные изменения. Это может быть полезно для создания систем, которые автоматически подстраиваются под уровень знаний учащегося.

3. Angular и взаимодействие с пользователями: Директивы <autoLayout> в Angular могут позволить ИИ адаптировать структуру страниц курсов под поведение пользователей, что особенно полезно для повышения эффективности онлайн-обучения.

Пример успешного применения ИИ во фронтенд-разработке – система автоматической верстки страниц на основе нейронных сетей, обученных на большом количестве данных. Такие системы могут автоматически генерировать учебные страницы на основе макетов и текстовых описаний, что позволяет сократить время на создание курсов на 70 % по сравнению с ручной версткой.

Использование методов машинного обучения для анализа поведения пользователей позволяет создавать адаптивные интерфейсы. Например, система может предлагать различные варианты представления информации в зависимости от предпочтений учащегося: выделять ключевые моменты, изменять структуру навигации или адаптировать тестовые задания.

Методы подкрепленного обучения могут помочь образовательным системам оптимизировать взаимодействие с пользователем, повышая удобство навигации и улучшая пользовательский опыт. Это может проявляться в увеличении конверсии заданий, уменьшении количества ошибок при прохождении курсов или улучшении понимания контента.

Применение ИИ во фронтенд-разработке образовательных платформ продолжает развиваться и будет осуществляться по двум направлениям:

1. Дальнейшая автоматизация разработки интерфейсов: Модели глубокого обучения смогут автоматически генерировать всё более сложные интерфейсы, включая персонализированные интерфейсы для каждого пользователя. Это позволит создавать адаптивные системы, которые могут автоматически подстраиваться под уровень знаний и предпочтения.

2. Интеграция ИИ в учебные процессы: Будущие системы будут способны не только генерировать интерфейсы, но и управлять процессом обучения, предлагая оптимальные пути освоения материала. ИИ может стать центральным элементом учебных платформ, обеспечивая адаптацию обучения в реальном времени.

## **Заключение**

Применение ИИ в разработке образовательных платформ предоставляет уникальные возможности для автоматизации создания и оптимизации интерфейсов. Методы машинного обучения, такие как сверточные нейронные сети, трансформеры и подкрепленное обучение, позволяют сократить время разработки, улучшить использование накопленного пользовательского опыта и сделать образовательные системы более адаптивными и удобными.

## **Список использованных источников**

1. Гудфеллоу И., Бенджио Й., Курвилл А. Глубокое обучение / пер. с англ. – М. : ДМК Пресс, 2018.
2. Пэлас П. Полное руководство по headless CMS: Всё, что вам нужно знать для выбора правильной CMS. Traverse City: Independently Published, 2017. – 68 с.
3. Денг Л., Донг Ю. Глубокое обучение: методы и приложения // Тенденции в обработке сигналов. – 2014. – Т. 7, №3. – С. 197–387.
4. Jiang J., Zhao Y., Li M. AI-Powered Frontend Development: A Comprehensive Study on Automation and Performance Enhancement in Web Interfaces // Web Science Journal. – 2021. – No. 2. – P. 45–60.
5. Brown T.B., et al. Language Models are Few-Shot Learners // Proceedings of NeurIPS. – 2020. – Vol. 33. – P. 1877–1901.
6. Волощенко В.Ю., Ли В.Г., Никипелов М.В. Дизайн и автоматизация верстки интерфейсов с использованием ИИ // Наука и современность. – 2015. – № 37-1. – С. 58–64.
7. Аветисян А.И. Кибербезопасность в контексте искусственного интеллекта // Вестник Российской академии наук. – 2022. – Т. 92, № 12. – С. 1119–1123.
8. Гонатаев Р.Г., Омельченко Д.А. Преимущества разработки веб-приложений с применением фреймворков: ИИ-улучшения // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 70-1. – С. 12–15.
9. Tissera E. How to choose a headless CMS // Smashing Magazine. – 2021. – No. 15.
10. Zhu X., Ghahramani Z. Semi-Supervised Learning Using Gaussian Fields and Harmonic Functions // Proceedings of the International Conference on Machine Learning. – 2003. – P. 912–919.
11. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. E. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2012. – Vol. 25. – P. 1097–1105.
12. Zhang Y., Yang Q. A Survey on Multi-Task Learning // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2021. – Vol. 34, No. 3. – P. 540–558.

## **Секция 4. Цифровые системы управления техническими объектами**

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-АВИАЦИОННОЙ СЛУЖБОЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РЕГЛАМЕНТНЫХ РАБОТ И РЕМОНТА НА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКЕ С УЧЕТОМ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

*Азарной Р.В.<sup>1</sup>, Ипполитов С.В.<sup>2</sup>, Миронов С.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина (г. Воронеж), адъюнкт,  
e-mail: roman.azarnoy@yandex.ru

<sup>2</sup>ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина (г. Воронеж), к.т.н., доцент,  
e-mail: s\_ippolitoff@mail.ru

<sup>3</sup>ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина (г. Воронеж), адъюнкт,  
e-mail: born979777@gmail.com

## Введение

Опыт эксплуатации авиационной техники (АТ) показал, что одной из основных задач инженерно-авиационной службы (ИАС) является выполнение регламентных работ и ремонта (РР и Р), направленных на восстановление и поддержание исправного технического состояния АТ, которая вышла из строя в процессе эксплуатации.

С целью обеспечения своевременного и качественного выполнения РР и Р на АТ, организуется управление ИАС, осуществляемое руководящим составом ИАС. Для определения границ исследования необходимо рассмотреть структуру системы управления ИАС и функции, выполняемые ее элементами в процессе выполнения РР и Р на АТ.

Органы управления ИАС в части решения задач технической эксплуатацией (ТЭ), в соответствии с федеральными авиационными правилами инженерно-авиационного обеспечения (ФАП ИАО) подразделяется на уровни [1]:

1. Управление начальника вооружения Воздушно-космических сил (I уровень). Организует ТЭ государственной авиацией в целом.
2. Должностные лица ИАС авиационных объединений и соединений (II уровень). Организуют выполнение мероприятий ТЭ в авиационных объединениях и соединениях.
3. Должностные лица ИАС авиационных частей (III уровень). Организуют выполнение мероприятий ТЭ в авиационных частях.

С учетом вышеизложенного следует, что органы управления ИАС в части решения задач ТЭ, подразделяются на три уровня, но в статье рассматривается только третий уровень, где должностные лица ИАС авиационных частей организуют выполнение РР и Р на АТ в авиационных частях.

В процессе организации выполнения РР и Р на АТ существует ряд проблемных вопросов в области управления ИАС:

- в процессе выполнения РР и Р на АТ не учитываются вероятности отказов блоков (систем), время восстановления АТ;
- при действующей системе управления ИАС возникают проблемы планирования и рационального распределения, в условиях ограниченного количества, специалистов ИАС;
- отсутствует алгоритм и методика определения очередности выполнения работ специалистами ИАС при выполнении РР и Р на АТ с учетом текущего технического состояния АТ;
- процесс формирования технологических графиков (ТГ) на основании плана – графика технико-эксплуатационной части (ТЭЧ) не автоматизирован и, как следствие, оказывают непосредственное влияние на продолжительность выполнения РР и Р на АТ.

## Описание алгоритма

Таким образом сокращение сроков выполнения РР и Р на АТ является актуальной задачей.

В качестве эффективности ТЭ авиационного подразделения при оформлении научной задачи используется коэффициент технической готовности (КТГ), в качестве частного показателя принята величина среднего времени выполнения РР и Р на АТ. КТГ – вероятность того, что произвольный момент времени АТ не будет находиться на плановом ремонте и вылет не будет задержан сверх допустимого времени или отменён из – за неисправности АТ [2].

Проведённый анализ исследований, проводимых в предметной области, а также существующих методов и средств автоматизации управления ИАС в процессе выполнения



РР и Р на АТ показал, что они не решают задачу распределения специалистов ИАС при выполнении РР и Р на АТ в случае возникновения отказа для его устранения и при распределении специалистов ИАС не учитывают текущее техническое состояние АТ.

Значимым фактором, оказывающим влияние на КТГ авиационного подразделения, является значение времени выполнения РР и Р на АТ. Данное время, в свою очередь, зависит от методов и средств распределения инженерно-технического состава (ИТС) в процессе управления ИАС при выполнении РР и Р на АТ, показателей безотказности и ремонтпригодности АТ, а также за счёт равномерного отхода АТ на РР и Р. Равномерный отход АТ можно обеспечить только при условии планирования ступенчатой выработки ресурса АТ. Ресурс – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до момента достижения объектом предельного состояния [3].

Учет данных вероятности отказов систем на АТ требующей ремонта, время выполнения ремонта группами РР и Р в ТЭЧ и время восстановления АТ по предложенному подходу организации процесса выполнения РР и Р на АТ позволит перейти к формированию ТГ с большей эффективностью с учётом времени выполнения работ на АТ, вероятностей отказов, а также времени их восстановления, с целью минимизации времени выполнения работ на АТ при ограниченном количестве специалистов ИАС, что в свою очередь обеспечивает переход на более высокий уровень надежности за счет повышения КТГ АТ, достигаемого минимизацией времени выполнения РР и Р на АТ, а также времени восстановления отказавших элементов (блоков, агрегатов) при ограниченном количестве специалистов ИАС.

С целью обеспечения своевременного и качественного выполнения РР и Р на АТ, организуется управление ИАС, осуществляемое руководящим составом ИАС. Объектами управления ИАС являются подчиненные соответствующим органам управления ИАС объединений, соединений и частей, и их подразделения [1]. Для исследования системы управления ИАС с целью поиска путей решения задачи разработки алгоритмического обеспечения соответствующей автоматизированной системы управления (АСУ) при выполнении РР и Р на АТ сформирована функциональная модель (ФМ) системы управления ИАС. Оптимизировать процесс выполнения РР и Р на АТ возможно при реализации системы управления ИАС в ФМ ИАС (рисунок 1,) что позволит сократить время на принятие решения начальником ТЭЧ.

Для функционирования модели ИАС с управлением ТЭЧ необходимо знать исходные данные, а именно, количество специалистов ТЭЧ, количество АТ выделяемых на выполнение РР и Р, вероятности отказов по каждой специальности и время их восстановления, которые формируются в информационной подсистеме системы управления ИАС. Все перечисленные исходные данные хранятся в базе данных и оперативно корректируются в случае необходимости начальником ТЭЧ.

ФМ системы описывает совокупность выполняемых системой и ее элементами функций. Функциональная связь и организационная структура между специалистами ИАС и начальником ТЭЧ осуществляется через должностных лиц, а именно, зам. начальника ТЭЧ и начальников групп РР и Р.

Оперативность функциональной модели ИАС ТЭЧ с управлением заключается в возможности мгновенной корректировки ТГ при возникновении отказа на АТ. Сигнал отказа поступает начальнику ТЭЧ, а он корректирует ТГ с учетом восстановления данного отказа с назначением конкретного специалиста ИАС для его устранения, что в свою очередь обеспечивает переход на более высокий уровень надежности за счет повышения КТГ АТ, достигаемого минимизацией времени выполнения РР и Р на АТ, а также времени восстановления отказавших элементов (блоков, агрегатов) при ограниченном количестве специалистов ИАС.

Сущность управляющей подсистемы системы управления ИАС заключается в том, что при организации и выполнении РР и Р на АТ осуществляется возможность мгновенной корректировки ТГ при возникновении отказа на АТ с целью перераспределения специалистов ИАС таким образом, чтобы обеспечить минимальное время выполнения РР и Р на АТ. Событие отказа на АТ информирует начальника ТЭЧ о необходимости корректировки и формирования ТГ с учетом восстановления отказавшего элемента (блока, агрегата) и о необходимости передачи его заместителю начальника ТЭЧ. После чего заместитель начальника ТЭЧ формирует ТГ по группам РР и Р ТЭЧ и раздаёт их начальникам соответствующих групп РР и Р по специальности. Начальники групп РР и Р по специальности на основе ТГ формируют планы работы ИТС в группах РР и Р, где определяется перечень работ и продолжительность их выполнения, распределяют специалистов ИАС, устанавливают контрольные операции, определяют сроки контроля качества выполнения РР и Р на АТ с назначением конкретного специалиста ИАС для устранения отказа и осуществляют контроль мероприятий в соответствии с ТГ и планами работы специалистов ИАС.

В результате исследования данной модели определен перечень и порядок расчёта параметров, характеризующих влияние учитываемых факторов.

На основе информации о количестве личного состава, нормированного времени выполнения РР и Р на АТ по специальности, вероятностей отказов АТ и времени ее восстановления формируется управляющее воздействие в виде ТГ, а также осуществляется его коррекция в случае возникновения отказов АТ или изменения количества специалистов. Применение ФМ системы управления ИАС при выполнении РР и Р на АТ с учетом отказов на АТ и времени их восстановления при ограниченном количестве специалистов ИАС позволяет распределять ИТС для выполнения РР и Р на АТ с учетом исходных данных.

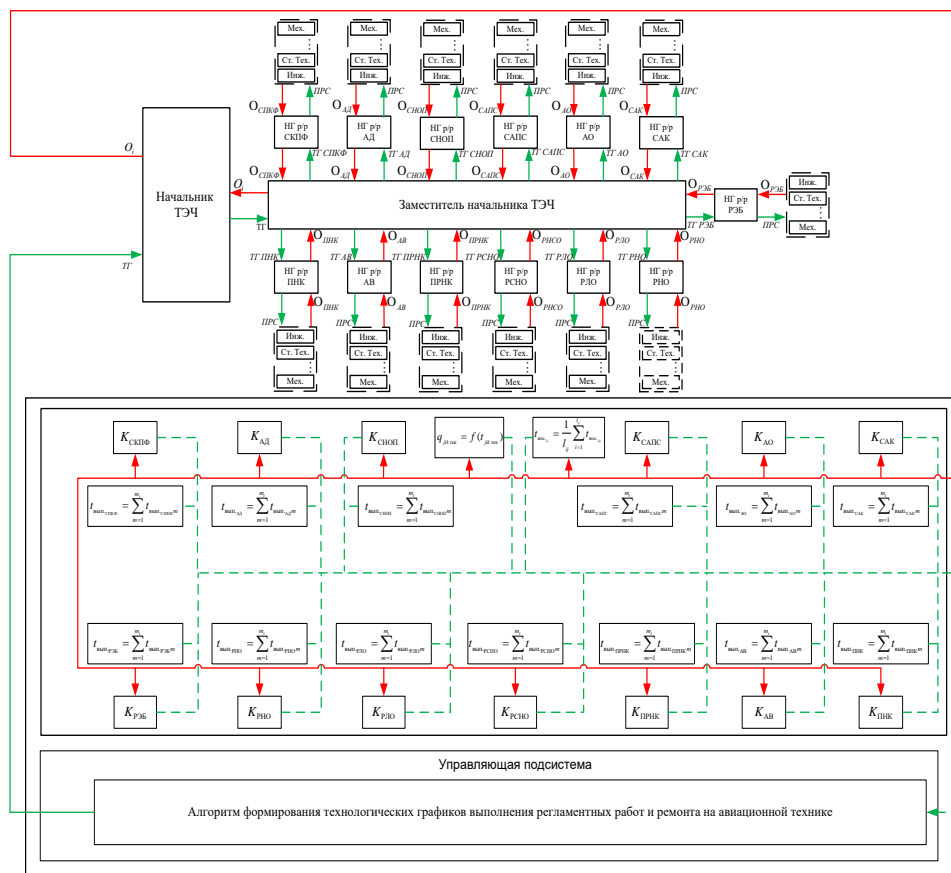


Рис. 1. Функциональная модель системы управления ИАС с управлением

## Заключение

Таким образом, с целью решения задач, способствующих достижению поставленных в работе целей, были разработаны следующие положения: ФМ системы управления ИАС при выполнении РР и Р на АТ, которая основана на анализе интерфейса магистральной последовательной системы электронных модулей, отличается от известных комплексным учётом процедуры сбора и обработки формируемой в процессе их функционирования информации, позволяющей в сокращённые сроки определить их техническое состояние, что позволяет сформировать основу создания АСУ, повысив при этом КТГ АТ, за счет минимизации времени выполнения РР и Р на АТ, а также времени восстановления отказавших элементов (блоков, агрегатов) при ограниченном количестве специалистов ИАС.

## Список использованных источников

1. Федеральные авиационные правила инженерно-авиационного обеспечения государственной авиации. Книга первая. – М. : МО РФ, 2005. – 252 с.
2. ГОСТ Р 56079-2014 Безопасность полёта, надёжность, контролепригодность, эксплуатационная и ремонтная технологичность. – М. : Стандартинформ, 2014. – 10 с.
3. ГОСТ Р 27.102-2021 Надёжность в технике. Надёжность объекта. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2021. – 40 с.

## К ВОПРОСУ О ФУНКЦИОНИРОВАНИИ АСУ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Андреев Н.С.<sup>1</sup>, Гаврилов В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО КГЭУ, студент, e-mail: nikita1209123@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО КГЭУ, к.т.н., доцент, e-mail: 2s19gavr@gmail.com

### Введение

В работе выполняется анализ автоматизированных систем управления энергоснабжением промышленных предприятий как информационно-вычислительных комплексов для контроля и автоматизации каких-либо технологических процессов на объекте электроэнергетики.

### Описание алгоритма

В настоящее время наблюдается повсеместная интеграция автоматизированных систем управления (АСУ) энергоснабжением на предприятиях в связи с тем, что многие технологические процессы нельзя прерывать по ряду причин: сложный процесс, остановка которого может привести к порче продукции или выхода из строя оборудования; материальные убытки. Для предприятий электроэнергетики установка АСУ необходима с целью осуществления постоянного мониторинга энергетического оборудования и прочей электрической части объекта (подстанции, электростанции и т. п.).

Помимо постоянного мониторинга такие системы транслируют обработанную телемеханизированную информацию в диспетчерские центры для надёжного функционирования энергосистемы и согласованности действий между различными субъектами электроэнергетики. Для того, чтобы наиболее точно оценить важность данных систем необходимо разобраться с особенностью управления такими системами. Представим это в виде блок-схемы (рис.1) [1].

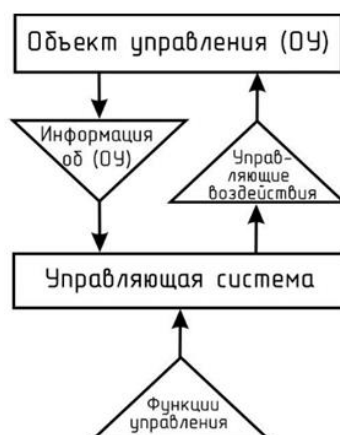


Рис. 1. Блок-схема управления как процесса преобразования и обработки информации

Как можно отметить, в основе АСУЭ лежит математический аппарат и методы моделирования. Исходя из этого можно добавлять в математическую модель параметры, выстраивать иерархию и логику работы объекта, на который распространяется действие системы. В основе таких систем лежат электронно-вычислительные машины, которые используются для составления различных математических моделей и их исследования.

Анализируя данную блок-схему можно определить, что объекты управления оснащаются различными видами автоматик, которые отдают управляющие воздействия на оборудование с целью поддержания заданных параметров. Для того, чтобы автоматика работала в соответствии с заданными параметрами, необходимо получать достоверную информацию, которая передаётся посредством устройств телемеханики на сервер или иную систему управления [2].

Но данные системы являются наиболее примитивными видами систем управления, т.к. их воздействия распространяется на один объект управления. Наиболее сложные автоматизированные системы управления энергоснабжением представляют собой комплексы автоматизированного управления технологическими процессами (АСУ ТП). Это объясняется тем, что такие системы обладают набором самостоятельных функций, позволяющих осуществлять администрировать множеством объектов

управления. Объекты управления в АСУ ТП называются технологическими объектами управления (ТОУ). Такими объектами могут быть турбины, коммутационные аппараты, разъединители, трансформаторы или системы шин. Блок-схема АСУ ТП приведена на рис. 2, которая наиболее точно объясняет логику команд данной системы.

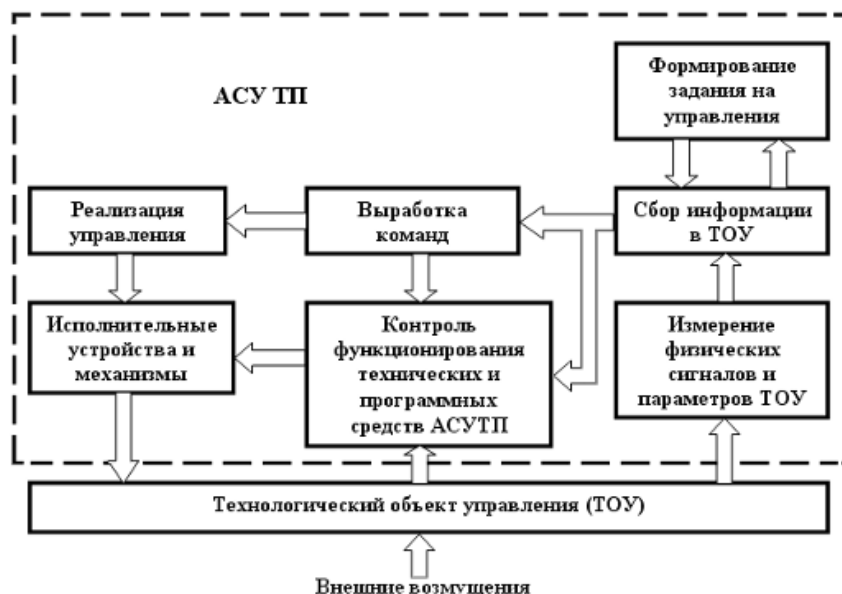


Рис. 2. Блок-схема автоматизированной системы управления технологическими процессами

Важно отметить, что АСУ ТП являются наиболее развитыми вариантами автоматизированных систем управления, которые позволяют осуществлять различные виды задач параллельно. Благодаря этому информация, которая поступает от ТОУ, обрабатывается электронно-вычислительными машинами, основанными на базе серверных технологий. В обработанном виде информация поступает диспетчеру, осуществляющему контроль за работой энергетической системы. Дополнительно АСУ ТП могут производить коммерческий учёт электроэнергии.

### Заключение

Подводя итоги, можно сказать, что создание автоматизированных систем управления – это достаточно сложный и долгий процесс по цифровизации производства. Но все эти трудности перекрываются возможностью снизить присутствие человека в опасных производственных зонах.

### Список использованных источников

1. Громаков Е.И. Проектирование автоматизированных систем управления нефтегазовыми производствами: учебное пособие / Е.И. Громаков, А.В. Лиепиньш. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 408 с.
2. Ключев А.С., Глазов Б.В., Дубровский А.Х., Ключев А.А.; под ред. А.С. Ключева. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.

# МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМОВ РАЗРАБОТКИ ИНТЕРФЕЙСОВ СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРСКОГО КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Ахремчик П.О.<sup>1</sup>, Ахремчик О.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Тверской государственный технический университет, магистрант, группа М.УТС.УИТС.24.19

<sup>2</sup> Тверской государственный технический университет, факультет информационных технологий, профессор кафедры автоматизации технологических процессов, e-mail: axremchic@mail.ru

## Введение

Системы диспетчерского контроля и учета электроэнергии в базовом функционале предназначены для формирования сообщений диспетчеру о потоках энергии в энергосистемах разного масштаба. Разработанные ранее алгоритмы формирования звуковых сообщений предупредительной и уведомляющей сигнализаций предусматривали вариацию частоты тональных сигналов [1, 2]. Верификация данных алгоритмов выявила необходимость расширения информационной составляющей предупредительного сигнала за счет использования речевых сообщений.

Целью работы являлась разработка алгоритмического и информационного обеспечения систем диспетчерского контроля и учета электроэнергии, которые предоставляют возможность разработки интерфейсов оператора с речевыми сообщениями о некритических отклонениях в состоянии контролируемых энергетических потоков.

Объектом исследования является среда разработки систем контроля и управления.

Новизной работы является расширение тезауруса для описания звуковых сообщений. Практическим результатом работы является применение расширенных свойств в алгоритме разработки интерфейсов систем диспетчерского контроля сетей электроснабжения.

## Расширение пространства свойств графических примитивов

В средах разработки и исполнения систем диспетчерского контроля параметров технических систем графические примитивы интерфейсов операторов представляются иерархическим описанием, включающим набор свойств. В свою очередь интерфейсы являются составляющей иерархии модулей системы. Переход к формированию речевых сообщений в процедурах формирования сигнализаций не только в случае эвакуации персонала и критического состояния, связанного с разрушением объекта, но и для уведомлений требует расширения нижнего уровня иерархии свойств посредством введения характеристик речевого сообщения (рис. 1). Модуль формирования звуковой сигнализации содержит звуковой тракт (звуковую подсистему), осуществляющую синтез тонального сигнала или речевого сообщения. На текущий момент сигнал воспроизводится через акустические колонки компьютера диспетчера выбором из файлового подкаталога жесткого диска, содержащего  $m$  сообщений.



Рис. 1. Иерархия свойств подсистемы формирования звуковых сообщений

Сообщения связаны с входящими в информационное обеспечение таблицами серьезности и приоритетов. В посылки правил формализации синтагм речевых сообщений включаются приоритеты событий, определяющие приоритеты сигналов. Активизация проигрывания файла сообщения обеспечивается по скрипту сигнализации после проверки истинности условий отклонения напряжения, тока,

частоты в сети или cosφ потребителя. Одновременно формируется текстовое сообщение на экране компьютера с занесением метки в журнал событий. По щелчку правой кнопки мыши по строке текстового сообщения звук пропадает. Каждому звуковому файлу поставлено в соответствие цветное поле геометрической фигуры (треугольник или прямоугольник) рядом с изображением прибора учета.

Множество звуковых сообщений [3]:

$$InF = \{S_0, S_1, S_2, S_{12}\},$$

где  $InF$  – информационное поле сообщений;  $S_1$  – речевой сигнал;  $S_2$  – тональный сигнал;  $S_{12}$  – комбинированный сигнал;  $S_0$  – отсутствие звукового сигнала.

Свойства звукового сообщения, формируемые в среде диспетчерского контроля с помощью библиотеки тегов для элементов представленного множества:

$$S = \langle ID, Time, P, Event\ class, Signal\ class, Value, Action\ class, Archive \rangle,$$

где ID – идентификатор, Time – метка времени, P – уровень приоритета, Event class – класс состояний контролируемого участка, Signal class – класс сигнала, Value – собственно данные, Action class – класс реакций оператора (диспетчера) на сигнал, Archive – отметка об архивировании.

### Описание алгоритма

Алгоритм разработки интерфейса предусматривает использование технологии тегов (рис. 2). После формирования в среде разработки проекта системы контроля создаются элементы проекта.



Рис. 2. Схема алгоритма разработки интерфейса

Интерфейс включает множество мнемосхем, отображение которых может происходить при наступлении внешнего по отношению к системе контроля события (например изменению реактивной составляющей мощности на стороне потребителя). Предполагается, что при формировании речевого сообщения информативная составляющая связана с отображаемым в текущий момент содержимом главной мнемосхемы.

Формирование звуковых речевых сообщений на основе библиотечных тегов предусматривает создание тегов, соответствующих элементам текста с привязкой к сигналам трансформаторов тока и напряжения (на стороне высокого и низкого напряжений) и модуля расчета активной и реактивной составляющих мощности контролируемого потребителя (на рисунке выделено фоном). Указанные теги связываются с объектами интерфейса

в библиотеке пользователя. После создания «главного объекта» мнемосхемы интерфейса средствами разработки создается виртуальный соединитель (коннектор) на основе открытого протокола передачи сообщений OPC с последовательным размещением элементов на мнемосхеме интерфейса оператора.

Теги связываются с OPC коннекторами. Представление временных графиков энергопотребления и изменения параметров сети на стороне потребителя осуществляется в виде трендов (простых зависимостей контролируемого параметра от времени). Формирование трендов при разработке обеспечивается установлением связей полей тегов с графическими диаграммами. Появление звуковых сообщений предусматривает, что диспетчер должен сформировать отчет о своих действиях. На этапе алгоритмического обеспечения разработки интерфейса предусматривается создание шаблона отчета. Завершающей стадией алгоритма разработки интерфейса является создание рабочего стола диспетчера. Элементы мнемосхемы и рабочих столов создаются с использованием рекомендаций эргономики и инженерной психологии [4].

Модификация алгоритма разработки интерфейсов заключается в том, что в ходе проектирования системы диспетчерского контроля создаются объекты и теги, связывающие параметры сети электроснабжения со звуковыми файлами, содержащими речевые сообщения об отклонениях параметров энергопотребления. Соответственно происходит привлечение внимания диспетчера к изменению свойств элементов интерфейса. Сообщения могут дублироваться в виде писем на электронную почту или отправкой sms на телефон.

Разработанный алгоритм применен при модернизации лабораторного макета звуковой сигнализации [2]. В ходе использования макета при проведении лабораторных работ получены экспериментальные данные, свидетельствующие о повышении точности прогноза диспетчером нежелательных отклонений в работе системы энергоснабжения при изменении характера нагрузки и режима потребления.

Анализ схемы алгоритма показывает его инвариантность к применяемому языку написания скриптов. Реализация алгоритма напоминает набор действий по конфигурации автоматизированных модулей и систем. Сущность конфигурации заключается в формировании структур, реализующих многоуровневые отношения в системе контроля.

## **Заключение**

Использование разработанного алгоритмического обеспечения позволит быстро модифицировать существующие системы диспетчерского контроля и учета электроэнергии при включении в программу модернизации требований речевого взаимодействия. В свою очередь наличие речевых сообщений в процессе человеко-машинного взаимодействия обеспечит расширение функционала систем диспетчерского контроля и позволит снизить инерционность системы контроля при появлении отклонений от штатного режима энергопотребления.

## **Список использованных источников**

1. Ахремчик О.Л. Использование разнотональных звуковых сигналов при контроле обрыва линии в системе электроснабжения // Актуальные вопросы энергетики. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 53–57.
2. Ахремчик О.Л., Хомутов И.В. Разработка модуля звуковой сигнализации системы автоматизации в среде проектирования SCADA/HMI DataRate // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2017. – № 1 (31). – С.47–52.
3. Ахремчик О.Л., Базулев И.И. Создание модулей звуковой сигнализации для подсистем контроля состояния конвейеров при производстве смесей на основе торфа // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». – 2024. – № 3 (23). – С. 81–90. – DOI: 10.46573/2658-5030-2024-3-81-90
4. Ивлеев П. Панель оператора как средство создания высокоэффективного HMI // Control Engineering Россия. – 2018. – № 2. – С. 41–46.

# АНАЛИЗ ИЕРАРХИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

*Вагапова А.А.<sup>1</sup>, Гаврилов В.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *ФГБОУ ВО КГЭУ, студентка, e-mail: alsu.vagapova01@gmail.com*

<sup>2</sup> *ФГБОУ ВО КГЭУ, к.т.н., доцент, e-mail: 2s19gavr@gmail.com*

## **Введение**

В данной работе анализируется иерархия автоматизированной системы управления на примере энергетической системы Российской Федерации.

## **Описание алгоритма**

С увеличением сложности управляемых систем растёт объём обрабатываемой информации и усложняются алгоритмы управления. Это делает централизованное управление неэффективным, объясняется тем, что такой вид управления может повысить сложность текущих процессов, которых достаточно большое количество в оперативно-диспетчерском управлении. Также необходимо понимать, что с ростом сложности и объёма процессов в функционировании энергетической системы возникает необходимость в разработке системы сбора и обработки поступающих данных.

Определим задачи, которые требуют повышения быстродействия и эффективности системы сбора и обработки данных: сбор данных в режиме реального времени с корректными значениями; проведение расчётов электроэнергетического режима на будущее время с учётом текущих изменений в энергосистеме [1].

Использование иерархической структуры при управлении неизбежно приводит к созданию иерархической системы инструментов управления.

Такое разделение, упрощая обработку информации на локальном уровне, порождает необходимость в согласовании решений, принимаемых различными уровнями управления. Это, в свою очередь, требует создания надлежащих органов координации.

Необходимо обеспечить соответствие технических средств специфике задач на каждом уровне иерархии.

Важно отметить, что многие производственные системы сами по себе обладают иерархической структурой, обусловленной объективными процессами научно-технического прогресса, концентрации и специализации производства.

В большинстве случаев структура объекта управления не совпадает с иерархией системы управления. По мере роста сложности систем, иерархия управления становится более сложной.

С целью обеспечения эффективного управления энергетической системой необходимо своевременно принимать взвешенное и выверенное решение. При помощи систем сбора и обработки информации диспетчер может правильно анализировать электроэнергетический режим. Это позволяет в кратчайшие сроки ликвидировать аварии без ущерба объектам электроэнергетики.

Управление единой энергетической системой (ЕЭС) построено по иерархическому принципу, охватывающему временной аспект, пространственное расположение и оперативную обстановку [2].

Временная иерархия позволяет проводить раздельное планирование режимов работы системы на различные временные интервалы. Цели планирования, исходные данные и состав задач зависят от рассматриваемого периода, что способствует декомпозиции задачи управления на несколько этапов. В режиме эксплуатации временная иерархия охватывает три взаимосвязанных уровня принятия решений:

– первый уровень: формирование долгосрочных планов режимов работы системы с горизонтом планирования от года до нескольких лет. На этом этапе планируются режимы, необходимые для обеспечения всех видов деятельности ЕЭС (технической, финансовой, хозяйственной), а также этот этап играет важную роль в условиях современного рынка;

– второй уровень: формирование краткосрочных режимов работы энергетической системы максимум на предстоящий месяц. Посредством расчётов и сбора информации о режиме энергосистемы в течение прошедшего времени позволяют наиболее точно планировать возможные возмущения в электроэнергетической системе;

– третий уровень: управление режимами в реальном времени функционирования ЕЭС. На этом уровне используются средства и системы оперативно-диспетчерского управления и автоматического регулирования, позволяющие корректировать запланированный режим на основе поступающей оперативной информации с учетом требований к энергоснабжению.



Если говорить о диспетчеризации и управлении в электроэнергетике, то необходимо принимать во внимание, что многие сигналы аварийной и предупредительной телесигнализации чаще всего настроены на получение сигналов исправности или нарушению целостности оборудования, что позволяет делать выводы о нарушении надежности электрооборудования на подстанциях [3]. При определении устойчивости и надежности энергосистемы принимают во внимание не только эти сигналы и жесткие правила, но и нужно выделить допущения для функционирования временных схем:

1. При срабатывании автоматического повторного включения или автоматического ввода резерва в энергосистеме для ликвидации аварии нет необходимости брать в учёт отклонений электроэнергетического режима. Принимается, что устройства релейной защиты и противоаварийной автоматики имеют минимальную вероятность отказа;

2. Необходимо разделять отключения электроэнергии на длительные и кратковременные. Важно уточнить, что длительные отключения приводят к аварийно-восстановительным работам (необходимо с расчётом режимов подготавливать временную схему), а кратковременные отключения чаще всего ликвидируются срабатыванием автоматик;

3. В зависимости от текущих ремонтов в энергосистеме диспетчером составляется отдельная программа переключений, которая учитывает все ограничения по контролируемым сечениям.

Говоря о системах сбора и обработки телемеханизированной информации с объектов электроэнергетики и внедрения предиктивной аналитики можно определить, что такие комплексы позволят единой энергетической системе функционировать с высокой надёжностью и устойчивостью.

## **Заключение**

Подводя итоги, необходимо отметить, что для оценки надёжности электрооборудования и устойчивости энергосистемы необходимо учитывать множество показателей надёжности. Данная тема является перспективной для изучения в дальнейшем будущем.

## **Список использованных источников**

1. Емельянова Н.З. Основы построения автоматизированных информационных систем [Текст]: учеб. пособие: рек. Мин. обр. РФ / Н.З. Емельянова, Т. Л. Партыка, И. И. Попов. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2007. – 416 с.
2. Гвоздева В.А. Основы построения автоматизированных информационных систем [Текст]: учеб.: доп. Мин. обр. РФ / В. А. Гвоздева, И. Ю. Лаврентьева. – М. : ФОРУМ : ИНФРА – М, 2007. – 318 с.
3. Овчаренко Н.И. Автоматика энергосистем [Текст]: учеб.: рек. Мин. обр. РФ / Н.И. Овчаренко; под ред. А.Ф. Дьякова. – М. : Издательство МЭИ, 2009. – 476 с.

# ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Валиева А.Х.<sup>1</sup>, Гаврилов В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО КГЭУ, студентка, e-mail: albinavaliyeva444@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО КГЭУ, к.т.н., доцент, e-mail: 2s19gavr@gmail.com

## Введение

Целью работы является анализ систем автоматизации диспетчерского управления с использованием элементов предиктивной аналитики. Определяется структура систем диспетчерского управления. Наиболее глубоко анализируется система предиктивной аналитики, которая позволяет производить моделирование режимов энергосистемы на основе текущих данных об электроэнергетическом режиме. В качестве вывода определены общие требования к сбору данных в системе автоматизации диспетчерского управления с интегрированными элементами предиктивной аналитики.

## Описание алгоритма

В настоящее время цифровизация электроэнергетики позволяет выполнять множество технологических операций, которые позволяют сокращать по времени рутинные процессы в диспетчеризации и управлении электроэнергетическими системами (ЭЭС).

Если говорить о технических и экономических преимуществах цифровизации электроэнергетики в области диспетчеризации, то необходимо отметить, что интеграция цифровых технологий позволяет своевременно предупреждать различные виды аварий, обладает высоким уровнем устойчивости к большим объемам данных, а также моментально обмениваться информацией между устройствами приёма и передачи данных.

Системы автоматизации диспетчерского управления (САДУ) имеют собственную цифровую модель энергетической системы, которая позволяет отслеживать состояние энергосистемы и каждого объекта диспетчеризации. При получении должного объёма телеметрии САДУ может производить расчёт сечений определённых районов, оценивать токовую нагрузку и уровень напряжения, а также отслеживать частоту в энергосистеме [1, 2].

Автоматизированные системы диспетчерского управления ЭЭС представляют собой иерархию сбора, передачи, обработки и отображения на диспетчерском щите актуальную информацию о непосредственном состоянии электроэнергетической системы, отдельных объектов электроэнергетики. В состав системы автоматизированного диспетчерского управления входит несколько субъектов и объектов электроэнергетики по следующей иерархии: диспетчерское управление; центр управления сетями; пункт районной электрической сети; объект электроэнергетики (станция, подстанция).

Одним из важных инструментов диспетчеризации является возможность прогнозировать режимы и потребление в некотором будущем, а также выстраивать схемы во время переключений. Функция прогнозирования представляет собой предиктивную аналитику, которая реализуется в оперативно-информационном комплексе за счёт уже имеющейся накопленной информации. Схема работы системы предиктивной аналитики приведена на рис. 1.



Рис. 1. Схема логики обработки данных в СПА

Помимо предиктивной аналитики в системах автоматизации диспетчерского управления также используется технология Интернета вещей, который является частью Индустрии 4.0. Важно отметить, что в эти оба инструмента в САДУ позволяют наиболее точно осуществлять прогнозирование электроэнергетического режима с высокой точностью в ближайший час. В ночное же время на основе диспетчерского графика и графика потребления производится приблизительный расчёт режима сети. Как правило, при использовании такой связки и ручных расчётов, получается достаточно близкий по параметрам рассчитанный режим [3].

Помимо этого, в системах автоматизации диспетчерского управления для получения наиболее точных данных телеметрические данные проходят предварительную проверку, дорасчёт, очистку и анализ на заданные параметры. Это позволяет безошибочно и точно отдавать готовую информацию в оперативно-информационный комплекс, являющимся высшей ступенью системы автоматизации диспетчерского управления. Объясняется важность данного комплекса тем, что он является «глазами» диспетчера. Помимо этого, в оперативно-информационном комплексе также могут содержаться типовые программы переключений, что позволяет диспетчеру не составлять программу переключений вручную, а запускать её при помощи данного комплекса. В случае нестандартной ремонтной схемы, можно составить на основе типовой программы собственную.

### **Заключение**

Подводя итоги, можно сказать, что система предиктивной аналитики и её внедрение играет достаточно важную роль в развитии автоматизированных систем диспетчерского управления, т.к. за счёт интеграции данного инструмента в SCADA можно повысить точность прогнозирования и расчёта режимов, а также снизить вероятность развития аварии в энергосистеме за счёт возможности определять ненормативные колебания в сети. Помимо этого, система SCADA, оснащённая таким инструментом позволяет с высокой точностью и скоростью во времени отслеживать параметры режима на основе прошлой информации и данных, которые позволяют делать выводы о электроэнергетическом режиме на некоторое время вперёд.

### **Список использованных источников**

1. Ковалев С.П. Применение нейронных сетей глубокого обучения в математическом обеспечении цифровых двойников электроэнергетических систем // Системы и средства информатики. – 2021. – Т. 31, № 1. – С. 133–144.
2. Герасимов С.Е., Горюнов Ю.П., Евдокунин Г.А., Иванов С.А. Численные и аналитические методы анализа режимов электрических систем. Учебное пособие. – Л. : Издательство ЛПИ, 1986.
3. Alexandra I. Khalyasmaa, Stepan A. Dmitriev, Sergey E. Kokin. System of the equipment technical condition estimation of substations based on fuzzy logic methods // Electro. Electrical, electronic, electrotechnical industry. – 2013.– №6. – P. 19–28. (recommended by High Attestation Commission of Russian Federation)

# ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ ПРИ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБСЛЕДОВАНИЯХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

*Воробьев Д.С.<sup>1</sup>, Гаврилов В.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *ФГБОУ ВО КГЭУ, ledok.ne.holodok@gmail.com*

<sup>2</sup> *ФГБОУ ВО КГЭУ, к.т.н. доцент кафедры Электроснабжение промышленных предприятий, 2s19gavr@gmail.com*

## **Введение**

Целью данной работы является анализ потенциала использования автоматизированных систем для управления беспилотными летательными аппаратами в процессе дистанционного обследования воздушных линий электропередачи.

## **Основная часть**

Известно, что от состояния воздушной линии электропередач, напрямую зависит и работоспособность электроэнергетической системы. Поэтому, обслуживающий персонал вынужден проводить обследования воздушной линии для выявления возможных повреждений и дефектов, возникающих при работе. Визуальный метод осмотра воздушной линии уже сегодня может проводиться с применением беспилотных летательных аппаратов, что позволяет значительно сократить, как время на осмотр участка воздушной линии, так и повысить его эффективность.

В тезисе будет разобрано использование БЛА мультироторного и самолетного типа при обследованиях ВЛЭП, применяющихся во время плановых осмотров. Беспилотный летательный аппарат — это воздушное судно, не имеющее экипажа на борту [1]. Такие аппараты могут варьироваться по уровню автономности: от дистанционно управляемых до полностью автоматизированных систем, функционирующих без участия человека. Они также различаются по конструкции, назначению и другим характеристикам [2]. В зависимости от списка решаемых задач БЛА, оператор может оснастить его различными типами оборудования, что позволит провести обследование и контроль за объектами энергетического хозяйств, в частности ВЛЭП. Так на беспилотные летательные аппараты самолетного и мультироторного типа существует возможность установить полезной нагрузки, в число которой входит: фотокамеры и видеокamеры с высокой разрешающей способностью, тепловизионные камеры, ультрафиолетовые камеры [3].

Обследование воздушных линий электропередачи, с помощью технических средств устанавливаемых на беспилотные летательные аппараты операторы применяют для решения следующих задач:

1. Оценки визуального состояния опор воздушных линий, укрепленных на ВЛ изоляторов, электрических проводов и другого оборудования, так же используемого на ВЛ.
2. Выявление нарушений в установленных нормах по эксплуатации ВЛ, определение мест повреждений электрооборудования воздушной линии.
3. Локализация и выявление нарушений в охранных зонах, расчищенных вокруг воздушной линии электропередачи [4].

Варианты использования беспилотных летательных аппаратов для дистанционного мониторинга ВЛЭП могут быть следующими:

- Применение техническим персоналом беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа для ускоренной диагностики участков воздушной линии электропередач длиной до нескольких километров
- Применение беспилотных летательных аппаратов самолетного типа (например: летающее крыло) для обследования протяженных участков ВЛЭП, длиной до нескольких десятков километров.
- Применение БпЛА для решения собственных локальных задач инженерного и технического персонала ремонтной бригады, например: верховой осмотр воздушной линии на труднодоступных участках, выявление повреждений воздушной линии электропередачи на труднопроходимой местности;
- Для дистанционного обнаружения нарушений в охраняемых зонах, созданных вокруг воздушных линий электропередачи, а так же выявления действий вандалов и фиксации их противоправных действий в отношении энергообъекта, для последующей передачи в органы внутренних дел [5].

Использование для управления беспилотными летательными аппаратами автоматизированных

систем позволяет минимизировать риск человеческих ошибок при пилотировании, особенно характерных для неопытных и малоопытных операторов БЛА [6]. При проведении дистанционного обследования ВЛЭП с помощью беспилотного комплекса ее эффективность напрямую будет зависеть от применяемых систем автоматизированного управления.

В настоящее время во всем мире активно разрабатываются различные системы для автоматического управления БЛА, различных типов. Большинство таких систем направлены на выполнение полета по так называемым контрольным точкам маршрута, определяемым оператором комплекса, а также на стабилизацию полета беспилотного летательного аппарата. Под стабилизацией в трехмерном пространстве понимается управление положением БЛА относительно углов его крена в пространстве, а так же рыскания крыльями во время выполнения маршрута. Беспилотные летательные аппараты с автоматизированным управлением, попадая под воздействие электромагнитных полей, излучаемых ВЛЭП, могут испытывать сбои в функционировании электронных компонентов из-за низкой помехоустойчивости стандартных элементов управления [7]. Поэтому используемые в электрохозяйстве БЛА должны получать помехоустойчивое оборудование.

Использование БЛА оснащенных автоматизированной системой управления для обследования воздушной линии предоставляет ряд следующих преимуществ по сравнению с классическими, управляемыми оператором:

1. Значительное сокращение трудозатрат оператора БЛА из числа технического персонала ремонтной бригады при проведении осмотра
2. Отсутствие необходимости привлечения высококвалифицированного оператора беспилотного летательного аппарата с сотнями часов налета для проведения обследования ВЛ.
3. Отсутствие риска человеческой ошибки при пилотировании, которая могла привести к риску повреждения или потере дорогостоящего оборудования.

## **Заключение**

Эффективность использования БЛА в сравнении с традиционными визуальными методами осмотра и обследования объектов энергетического хозяйства была неоднократно подтверждена на практике силами бригад, оснащенных комплексами беспилотных летательных аппаратов. Применение же технологии автоматизированного управления беспилотным летательным аппаратом исключает ошибки человека в пилотировании и не требует высококвалифицированного специалиста, что в значительной мере способно упростить внедрение БЛА в энергохозяйство.

## **Список использованных источников**

1. Свищев Г.П. Авиация: Энциклопедия // Большая Российская энциклопедия – 1994. – 108 с.
2. Слюсар В.А. Радиолинии связи с БЛА: примеры реализации. // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2010. – № 5. – С. 56–60.
3. Косова А.Е., Кориков А.М. Применение видеокамер на борту беспилотных летательных аппаратов для задач автоматического определения координат БЛА // Электронные средства и системы управления: материалы XII Международной научно-практической конференции. – Томск, – 2016. – С. 32-34.
4. Валиев А.В. Опыт применения беспилотного летательного аппарата «Ptero E» для поиска мест аварии на воздушной линии электропередачи // Кабель. – № 11. – С. 20-21.
5. Беляев П. В., Головский А. П., Садаев Д. С. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов при контроле и диагностике объектов энергетики // Динамика систем, механизмов и машин. – 2019. – Т. 7, № 2. – С. 231–237.
6. Богословский С.В., Дорофеев А.Д. Динамика полета летающих аппаратов : Учебное пособие. – Санкт-Петербург. – 2002.
7. Гизатуллин Р.М., Дроздилов В.А., Константинов Э.С. Моделирование функционирования элементов электронных систем БЛА при воздействии излучаемых электромагнитных помех высоковольтной линии электропередачи // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – № 4. – 18 с.

# АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ НА ПРЕДПРИЯТИИ С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКОВ ДВИЖЕНИЯ И ПРИСУТСТВИЯ

Гаффанова А.Р.<sup>1</sup>, Гаврилов В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Казанский государственный энергетический университет, e-mail: angelinagaffanova@mail.ru

<sup>2</sup> Казанский государственный энергетический университет, канд. техн. наук, доц., e-mail: 2s19gavr@mail.ru

## Введение

Целью работы является рассмотрение алгоритма работы системы автоматизированного управления освещением на предприятии с помощью датчиков движения и присутствия, ее преимущества и недостатки.

## Описание алгоритма

Система автоматического управления освещением (САУО) – это система, использующая технологии автоматизации для управления освещением в здании без постоянного вмешательства сотрудников [1]. Она имеет ряд достоинств, что позволяет улучшить контроль управления освещением и сокращения затрат на потребление электроэнергии, а именно:

– Благодаря применению в системе экономичных светодиодных светильников, не имеющих вредных и опасных газов и изготовленных из пластика, идет экологичное воздействие на окружающую среду, в отличие от использования газоразрядных ламп или ламп накаливания.

– Экономия электроэнергии, за счет автоматического регулирования яркости, освещения и датчиков присутствия.

– Повышение безопасности и комфорта.

– Возможность автоматического регулирования яркости света, независимо от наличия естественного света или времени [2].

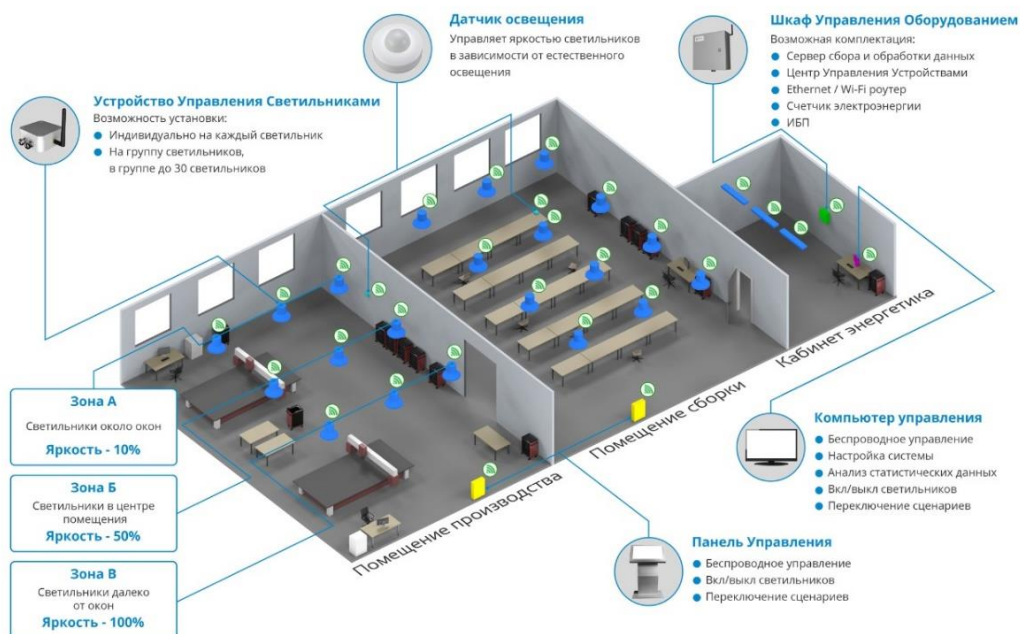


Рис. 1. Пример системы автоматического управления освещением в цеху

Основные функции САУО:

– контроль управления освещением одним или нескольких светильников на дистанционном управлении [3];

– возможность подключения дополнительного оборудования без изменений и замены в системе;

– надежность и непрерывность работы оборудования;

– интеграция в любую систему или оборудование.

Преимущество в том, что в системе автоматического управления освещением датчики движения и присутствия устанавливаются в рабочую систему освещения. Они устанавливаются в разрыв линии, а включаются и отключаются через собственное реле.

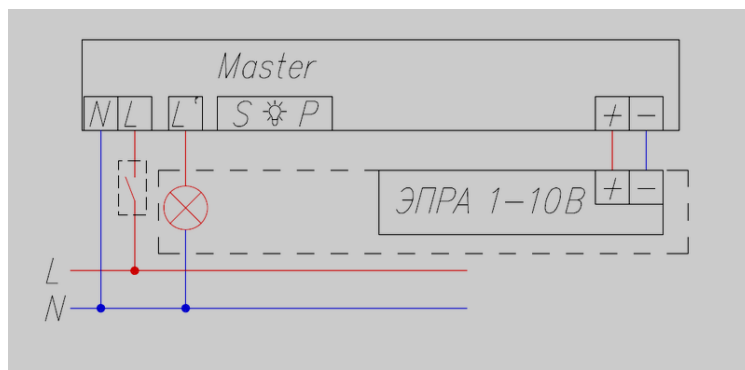


Рис. 2. Электрическая схема включения датчика в линию со светильником в случае управления по сигналу 0..10 В

Также существует два вида датчиков: движения и присутствия.

Если датчик движения рассчитан на периодическое появление людей, то датчик присутствия – на измерение уровня освещенности и постоянное присутствие людей.

Отличие датчиков движения от датчиков присутствия: он измеряет освещенность в момент обнаружения первого движения, в то время как второй вид датчиков проводит замеры освещенности постоянно и сравнение с заданными параметрами, а также выключение светильников при превышении порога параметров [4].

Также есть такое понятие, как «чувствительность датчика» – это соотношение изменения выходного значения к входному:

$$S = dO / dI, \quad (1)$$

где  $S$  – чувствительность датчика;

$dO$  – изменение выходного значения;

$dI$  – изменение входного значения.

Помимо этого, есть еще понятие «порог чувствительности» – это минимальное изменение входной величины, вызывающее изменение выходного сигнала.

У любого датчика есть «мёртвая зона», или зона нечувствительности – это зона, в которой нарушается линейность преобразования сигнала, то есть в этой зоне измеренное значение будет неточным [5].

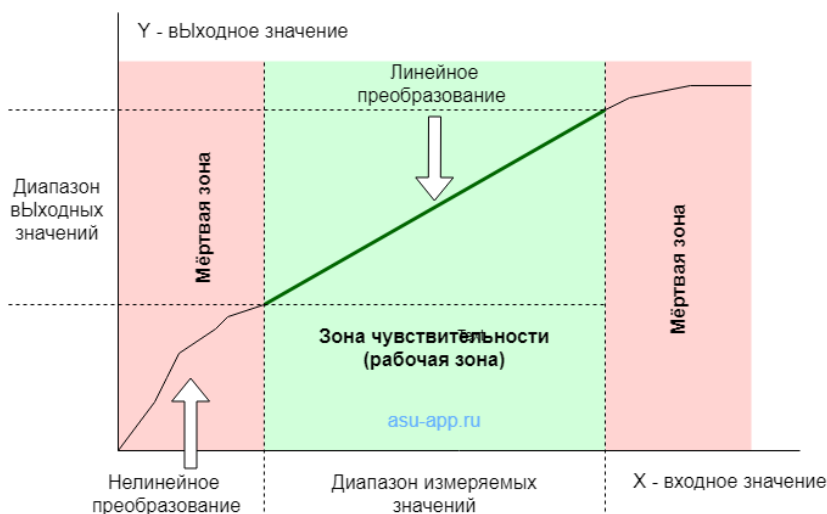


Рис. 3. Соотношение выходного и входного значения

Алгоритм САУО работает следующим образом:

В системе устанавливаются фотореле (датчики движения и присутствия), измеряющие уровень освещенности в цеху. Расположение может быть разным: на стенах, потолке и т.д. Основная задача датчиков – передавать информацию об уровне освещенности в систему [6].

При включении датчик автоматически калибруется в течение 10-15 секунд, затем выключается свет и начинает работать настроенный алгоритм:

А. В то время, когда в помещении отсутствуют люди, свет автоматически выключается, датчик работает в режиме ожидания и контрольного замера освещенности.

В. При обнаружении человека возможны два варианта:

– Люди есть, но света из окон достаточно – датчик делает замеры и включает освещение при падении уровня освещения.

– Яркость освещения подбирается так, чтобы достичь порога установленной за стандарт освещенности. Люди появились – свет включается и регулируется до уровня стандарта.

– Людей нет – запускается таймер задержки, если изменений нет, происходит выключение или переход к 10 % уровню освещения.

Предприятие задает и настраивает желаемый уровень освещения в помещении или участке, в системе выставляются параметры освещенности, согласно нормам освещенности.

Далее система производит анализ данных, полученных с помощью датчиков, и сравнивает их с заданными параметрами освещенности.

Уже после результатов анализа данных в системе меняют уровень освещения:

– Если текущий уровень освещенности  $E$  ниже заданного значения – включение/усиление ламп.

– Если текущий уровень освещенности  $E$  выше заданного значения – отключение/ослабление ламп.

5. Уже исходя из принятого решения, система самостоятельно контролирует источники света, например, управляет диммерами, светорегулярами или выключателями.

6. После изменений уровня освещения в системе заложен мониторинг уровня освещенности с помощью датчиков, а также может вносить корректировки для поддержания заданного уровня освещенности  $E$ .

7. Помимо датчиков в системе могут закладываться расписания освещения, таймеры и др., что позволит настраивать и контролировать освещение.

Из недостатков для сотрудников нужно выделить, что датчики могут щелкать светом при изменении погоды: яркое солнце, сильный ветер или отдельные облака, но это способствует экономии электроэнергии.

## **Заключение**

Таким образом, использование датчиков движения и присутствия имеет больше достоинств, нежели недостатков, благодаря экономии электроэнергии, достигающей до 40%, а также способствованию продлению срока службы светильников.

## **Список использованных источников**

1. Кирин И.Г. Автоматизированные системы управления внутренним освещением и экономические основы их внедрения / И.Г. Кирин, А.И. Кирин // Сборник научных трудов пятой межрегиональной научно-практической конференции «Актуальные проблемы торгово-экономической деятельности в рыночных условиях». – Оренбург : «Газпромпечат» ООО «Оренбурггазпромсервис», 2004. – С. 191–193.

2. Asif M., Muneer T. Energy supply, its demand and security issues for developed and emerging economies // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2007. – Vol. 11 (7). – P. 1388–1413.

3. Автоматическое управление светом [электронный ресурс]: режим доступа: <http://ribosome.ru/dai-dzhest/avtomaticheskoe-upravlenie-svetom> (дата обращения: 30.09.2024).

4. Как мы делали умную систему освещения для офиса: сравниваем два этажа / Хабр (habr.com) [электронный ресурс]: режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/croc/articles/178425/> (дата обращения: 30.09.2024).

5. Датчики для систем автоматизации [электронный ресурс]: режим доступа: <https://asu-app.ru/tsa/sensors/> (дата обращения: 30.09.2024).

6. Wallbaum H., Hermelink A., Mocanu T. Designing user-centered smart homes : An interdisciplinary approach // Journal of Cleaner Production. – 2019. – Vol. 211. – P. 414–424.



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИОТ ТЕХНОЛОГИЙ В ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКАХ И ПОСТРОЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СБОРА ДАННЫХ

Упоров А.В.<sup>1</sup>, Михеев Е.С.<sup>2</sup>, Леонов С.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Томский политехнический университет, ИШИнЭС, группа 6ВМЗ1ПИШ  
e-mail: avu39@tpu.ru

## Введение

Индустрия 4.0 ознаменовала собой переход к умным производствам, где ключевую роль играют цифровые технологии, такие как Интернет вещей (IoT) и цифровые двойники. Эти технологии позволяют оптимизировать процессы, обеспечивать высокую точность и своевременное принятие решений на основе данных, собранных в реальном времени. В данной статье рассмотрим, как IoT может использоваться в создании цифровых двойников и распределенных систем для сбора данных.

## Цифровые двойники

Цифровой двойник – это виртуальная модель физического объекта или системы, которая в режиме реального времени обновляется данными, собираемыми с реального объекта. Он позволяет:

- Моделировать поведение объекта. С помощью цифровых двойников можно тестировать сценарии, прогнозировать сбои и оптимизировать работу оборудования или процесса.
- Собирать данные. Цифровой двойник анализирует информацию от датчиков, контроллеров и других устройств IoT, устанавливая соответствие между виртуальной и реальной моделью.
- Предсказательное обслуживание. Благодаря анализу собранных данных можно предсказать, когда оборудование потребует ремонта, что снижает риски поломок и повышает эффективность.

Пример использования цифровых двойников можно увидеть в промышленности: предприятия создают виртуальные копии оборудования, таких как турбогенераторы, линии производства или целые фабрики. На этих моделях проводят виртуальные тесты, что позволяет избегать рисков в реальном производстве.

## Роль IoT в цифровых двойниках

Интернет вещей обеспечивает цифровой двойник необходимыми данными. IoT включает в себя сеть подключённых устройств, таких как датчики температуры, давления, вибраций, расхода и другие устройства, собирающие данные с реальных объектов. Важные аспекты IoT в цифровых двойниках включают:

1. Датчики и устройства. IoT-сеть позволяет непрерывно получать информацию с физического оборудования. Это могут быть датчики температуры на турбине или датчики вибрации на промышленном станке.
2. Связь в реальном времени. IoT-протоколы, такие как MQTT или OPC UA, обеспечивают быстрый обмен данными между реальной системой и цифровым двойником. IoT делает возможной передачу данных с устройств в облачные системы или локальные серверы для анализа в режиме реального времени.
3. Аналитика данных. Система IoT собирает и передает данные для анализа. Благодаря встроенным алгоритмам искусственного интеллекта и машинного обучения цифровой двойник может обрабатывать и анализировать большие объемы данных для предсказания потенциальных неисправностей или поиска возможностей для оптимизации.

## Построение распределенных систем для сбора данных

Для эффективного функционирования цифровых двойников и IoT-сетей важно выстраивать распределенные системы для сбора данных. Это системы, в которых данные собираются из разных источников, обрабатываются и передаются в централизованное место (например, облако или локальный сервер) для дальнейшего анализа.

1. Архитектура распределённых систем. Обычно распределенные системы IoT состоят из нескольких уровней:

1.1. Уровень устройств. Это физические объекты (датчики, актуаторы, PLC), подключенные к сети. Эти устройства передают данные на следующий уровень.

1.2. Граничные вычисления (Edge computing). Этот уровень предназначен для предобработки данных ближе к источнику. Граничные устройства анализируют данные на месте, снижая нагрузку на сеть и позволяя оперативно принимать решения.

1.3. Облако или сервер. Система хранения и анализа данных, где собранные данные обрабатываются более глубоко с использованием продвинутых методов аналитики, машинного обучения и ИИ.

2. Протоколы связи. Для работы распределённых систем используются различные протоколы передачи данных, такие как MQTT (для лёгкой передачи сообщений с малым объемом трафика) и OPC UA (для более сложных промышленных сценариев).

3. Безопасность и надёжность. При построении IoT-систем крайне важно обеспечить надёжную защиту передаваемых данных. Это включает в себя шифрование данных, аутентификацию устройств, защиту от кибератак и создание резервных копий данных.

Пример: система сбора данных на производстве. На примере производства можно представить, что данные собираются с нескольких производственных линий с использованием датчиков температуры и вибрации. Собранные данные обрабатываются на уровне граничных устройств, а ключевая информация передается в облако, где ИИ анализирует состояние оборудования и дает рекомендации по его обслуживанию.

### Использование локального MQTT-брокера на базе контроллера ОВЕН210

Для обеспечения эффективного обмена данными между реальными объектами, цифровыми двойниками и распределёнными системами, мной был создан локальный MQTT-брокер на базе контроллера ОВЕН 210. Этот брокер обладает встроенным интерфейсом управления (рисунок 1) и обеспечивает надёжную и быструю передачу данных с различных устройств IoT и производственных систем.

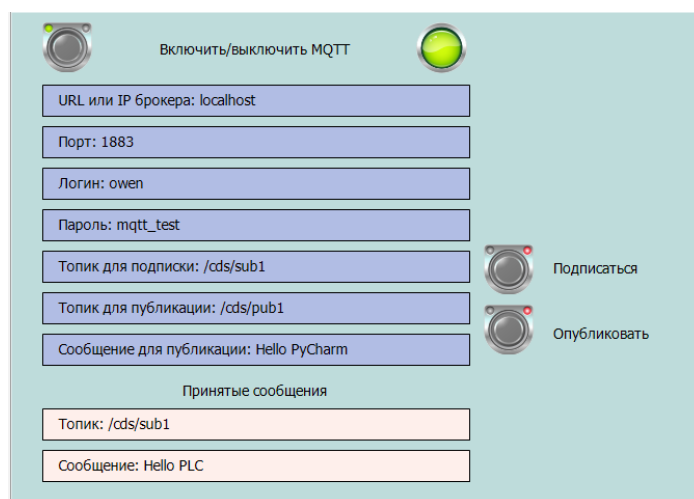


Рис. 1. Интерфейс управления локальным брокером

Преимущества использования локального брокера:

1. Низкая задержка и высокая надёжность. Локальный брокер на базе ОВЕН 210 минимизирует задержки в передаче данных, так как все обмены происходят внутри локальной сети.

2. Интерфейс управления. Возможность управления брокером через интерфейс даёт гибкость в настройке и мониторинге системы обмена данными.

3. Обмен данными с цифровыми двойниками. Брокер служит мостом для передачи данных между физическими объектами и их цифровыми двойниками, поддерживая синхронизацию в режиме реального времени.

4. Интеграция с распределёнными системами. Использование MQTT на контроллере ОВЕН 210 позволяет обеспечить обмен данными с другими системами в распределённой архитектуре, как для сбора данных, так и для управления технологическими процессами.

Данный подход упрощает настройку обмена информацией и позволяет интегрировать IoT-устройства с цифровыми моделями оборудования, создавая эффективную и масштабируемую систему управления производственными процессами.

### **Заключение**

IoT-технологии и цифровые двойники предоставляют промышленности новые возможности для оптимизации, мониторинга и предсказания производственных процессов. Создание распределённых систем для сбора данных позволяет в реальном времени собирать и анализировать большие объёмы информации, что существенно улучшает управление и эффективность работы.

Особенно важным шагом в этой области стало создание локального MQTT-брокера на базе контроллера ОВЕН 210. Он обеспечивает обмен данными между физическими устройствами, цифровыми двойниками и распределёнными системами, что позволяет в режиме реального времени контролировать производственные процессы и принимать оперативные решения. Этот подход объединяет физические объекты и их цифровые модели, создавая целостную систему управления, которая улучшает как мониторинг, так и управление технологическими процессами.

Таким образом, интеграция IoT, цифровых двойников и локальных решений, таких как MQTT-брокеры на базе контроллеров, позволяет предприятиям значительно повысить точность и скорость реакции на изменения в производстве, открывая возможности для автоматизации и интеллектуального управления.

### **Список использованных источников**

1. Документация ОВЕН ПЛК. Руководство пользователя *ОВЕН ПЛК 210* [Электронный ресурс]. – 2022. Доступно по: [https://www.owen.ru/products/plc\\_210](https://www.owen.ru/products/plc_210)
2. MQTT.org. Основы MQTT [Электронный ресурс]. – 2020. – Доступно по: <https://mqtt.org>
3. Гривз М. Цифровой двойник: Достижение совершенства в производстве через виртуальное дублирование фабрики / Белая книга, Институт технологий Флориды, 2014.

# ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВОИЧНЫХ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ И БЕСКОНЕЧНО-ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ С ЭФФЕКТАМИ КВАНТОВАНИЯ ПО УРОВНЮ

Евдокимов С.Э.<sup>1</sup>, Жораев Т.Ю.<sup>2</sup>, Щагин А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> НИУ МИЭТ, Институт микроприборов и систем управления e-mail: serj.evdokimov@mail.ru

<sup>2</sup> НИУ МИЭТ, Институт микроприборов и систем управления, e-mail: timurzj@gmail.com

<sup>3</sup> НИУ МИЭТ, Институт микроприборов и систем управления, e-mail: acs@miee.ru

## Введение

В настоящее время несмотря на развитие высокопроизводительных систем остаётся актуальным вычисления, проводимые на устройствах с ограничением на выполняемые арифметические операции, так, сложность существенно возрастает при наличии умножения и, особенно, деления. При этом, операции сложения и арифметического сдвига влево или вправо осуществляются наиболее эффективно. Однако, это накладывает ограничения на коэффициенты, которые должны быть кратны степени двум. Задачи, которые решаются подобного рода вычислениям довольно широки, начиная от применения простейших восьмьбитных контроллеров и заканчивая системами с высокой степенью параллелизма, например, нейронные сети с вычислениями с ограниченной разрядностью. В настоящей работе приведена методика формирования и анализ основных характеристик данного фильтра. Для проведения вычислений использовалась система символических вычислений Maxima.

Целью работы являлось реализация алгоритма и программы расчёта цифрового фильтра, основанного на вычислениях без применения специализированной операции умножения.

## Описание алгоритма

В [1] описывается операция умножения и её оптимизация для цифровых фильтров, также используются различные аппроксимации и табличная выборка, недостатком является сложность реализации. В [2] представлен цифровой фильтр для микроконтроллеров, однако он требует довольно значительного времени для расчётов, так как используется программная эмуляция. В [3] представлены эффекты квантования, возникающие в цифровых фильтрах с ограниченной разрядностью. В [4] производится оценка времени для вычислений с использованием фильтров с БИХ различной структуры. В [5] реализован КИХ-фильтр, однако, для достижения заданной постоянной времени требуется довольно большой порядок и количество накоплений.

Для начала необходимо задать структуру нормированного цифрового фильтра в общем виде (1).

$$F(z) = \frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1}}{1 + a_1 \cdot z^{-1}} \quad (1)$$

Данный цифровой фильтр соответствует рекуррентному соотношению (2) и представлен в нормированном виде.

$$y_n = b_0 \cdot x_n + b_1 \cdot x_{n-1} - a_1 \cdot y_{n-1} \quad (2)$$

Для нахождения комплексно-частотной характеристики (КЧХ), содержащей мнимую и действительную части в зависимости от частоты, необходим выполнить подстановку  $z = e^{\frac{2j\pi f}{f_d}}$  где  $e, j$  - основание натурального логарифма и мнимая единица соответственно, подставляя это выражение в (2) можно получить (3):

$$F(2j\pi f) = \frac{b_0 + b_1 \cdot e^{-\frac{2j\pi f}{f_d}}}{1 + a_1 \cdot e^{-\frac{2j\pi f}{f_d}}} \quad (3)$$

Следует отметить, что из (3) можно непосредственно получить АЧХ как (4). А также аргумент в виде четырёхкватратного арктангенса (выражение слишком большое).

$$|F(2j\pi f)| = \frac{\sqrt{\cos\left(\frac{2\pi f}{fd}\right) + 1}}{\sqrt{2} \sqrt{-((2^{2N+1} - 2^{N+1})\cos\left(\frac{2\pi f}{fd}\right)) + 2^{2N+1} - 2^{N+1} + 1}} \quad (4)$$

Для нахождения граничных значений КЧХ, соответствующих нулевой частоте и частоте Найквиста (равной половине частоты дискретизации  $f_N = fd/2$ ), необходимо подставить в (3) соответствующие значения частоты и получить выражения для заданных точек (5):

$$F(0) = \frac{b_1 + b_0}{a_1 + 1} = 1, \quad F(2j\pi \frac{fd}{2}) = \frac{b_0 - b_1}{1 - a_1} = 0 \quad (5)$$

Решением системы (5) будут коэффициенты для цифрового фильтра (6).

$$[b_0 = \frac{a_1 + 1}{2}, b_1 = \frac{a_1 + 1}{2}] \quad (6)$$

Исходя из устойчивости передаточной функции (1), определяемой знаменателем и представленной как  $(b_0z + b_1)/(z + a_1)$  можно получить полюс  $[z = -a_1]$ , который должен лежать в диапазоне от -1 до 1. Также, следует отметить, что значение коэффициента должно быть отрицательным, то есть лежать в диапазоне от -1 до 0, при этом, переходной процесс носит экспоненциальный характер, если полюс лежит в правой полуплоскости.

Ключевым моментом является наличие коэффициента, который может быть определён следующим образом, для любого натурального числа N (7),

$$[a_1 = \frac{1}{2^N} - 1] \quad (7)$$

При этом, оставшиеся коэффициенты определяются согласно выражению (6), подставляя (7) в (6) можно получить (8):

$$[a_1 = \frac{1}{2^N} - 1, b_0 = 2^{-N-1}, b_1 = 2^{-N-1}] \quad (8)$$

Исходя из рекуррентного соотношения (2) можно записать (9):

$$y_n = x_0 2^{-N-1} + x_1 2^{-N-1} - y_1 \left(\frac{1}{2^N} - 1\right) \quad (9)$$

Далее можно данное выражение упростить, вынести за скобки  $2^{-N-1}$ , при этом получается выражение (10).

$$y_n = 2^{-N-1}(y_1 2^{N+1} - 2y_1 + x_1 + x_0) \quad (10)$$

Таким образом, фильтр реализуется с использованием вычисления суммы  $x_1 + x_0$ , далее производится вычисления с предыдущим отсчётом  $y_1$ . При этом умножение на 2 заменяется арифметическим сдвигом вправо на 1 разряд, умножение на  $2^{N+1}$  заменяется на такой же сдвиг только на N+1 разрядов, затем, находится общая сумма и умножается на  $2^{-N-1} = 2^{-(N+1)}$  что эквивалентно последующему сдвигу влево на N+1 разряд. Следует отметить важную особенность. Чем больше постоянная времени, тем большая требуется разрядность.

Далее на рис. 1 приведён график для выходных отсчётов в зависимости от номера отсчёта цифрового фильтра, рассчитанного по (10) а также в зависимости от числа N. В качестве входных отсчётов – единичная функция.

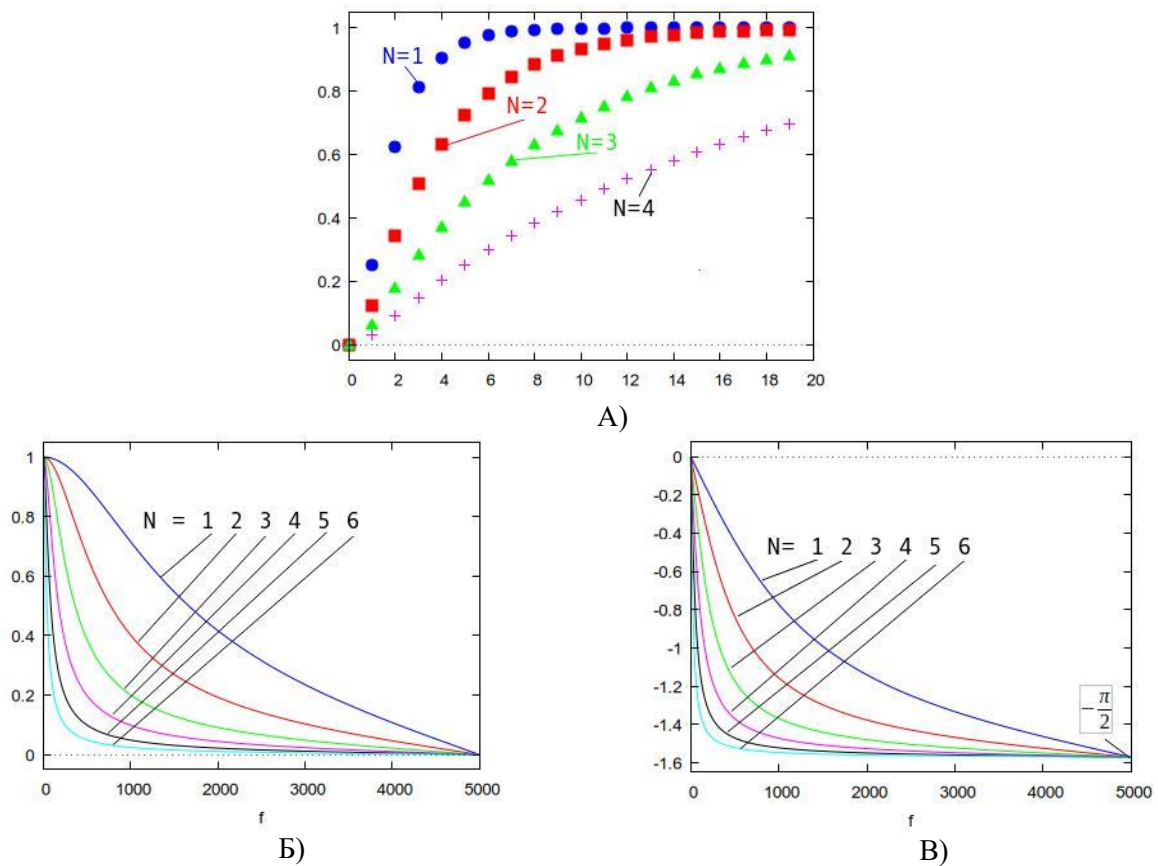
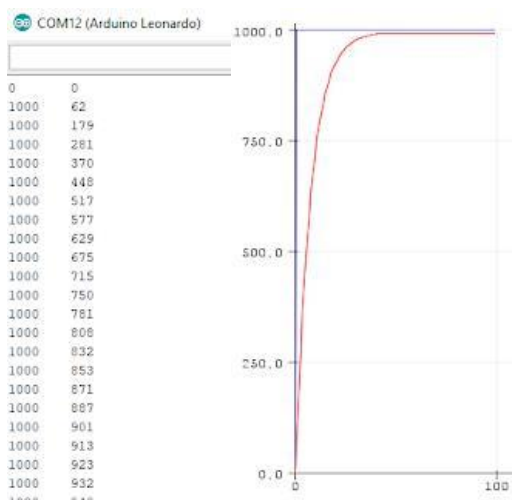


Рис. 1. Характеристики цифрового фильтра:  
 А – переходная; Б – АЧХ; В – ФЧХ

Пример кода на языке «С» и соответствующий сигнал с выхода фильтра при аппаратной реализации представлены на рис. 2.



```

typedef struct FirFrac15 {
int16_t x, x_1, y, _1;
} FirFrac15;
void FirFrac15Calc(FirFrac15 *Filter)
{
    register int32_t Acc;
    register int16_t x01 = Filter->x +
Filter->x_1;
    Acc = (((int32_t)Filter->y_1<<(N+1)) -
((int32_t)Filter->y_1<<1)
(int32_t)x01)>>(N+1);
    Filter->y = (int16_t)Acc;
    Filter->x_1 = Filter->x;
    Filter->y_1 = Filter->y;
}
    
```

Рис. 2. Пример выходного сигнала с микроконтроллера и программная реализация

## **Заключение**

Реализован цифровой фильтр без использования операции умножения, она была заменена на последовательность арифметических сдвигов. Вначале вычисляется сдвиг вправо, затем – влево на заданное количество разрядов. При этом, частотная характеристика является фиксированной. Для реализации промежуточных значений может применяться каскад таких фильтров с различным значением  $N$ , а также непосредственно проведение синтеза фильтра более высоких порядков по указанной методике с использованием символического поиска коэффициентов. Построена частотная и переходная характеристика, представлена программа для расчёта фильтра для микроконтроллера. Также, необходимо увеличение разрядности операндов с увеличением постоянной времени, данный эффект характерен для любых цифровых фильтров, когда необходимо уточнять разрядность аккумулятора при наличии «низкочастотных» полюсов с большой постоянной времени.

## **Список использованных источников**

1. Karthick S., Kamalanathan C. and Panda S. Energy Efficient Multiplier for Reconfigurable Digital filter // 2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT), Bangalore, India. – 2020. P. 1–5.
2. Matejček M. and Šostronek M. Low-Pass Filter Design with Microcontroller // 2022 New Trends in Signal Processing (NTSP), Liptovský Mikuláš, Slovakia. – 2022. – P. 1–8.
3. Gao C. et al. Quantization Effects on Digital-PR-Controlled Active Power Filter // IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. – 2023. – Vol. 11, no. 6. – P. 5785–5797.
4. Şuşcă M., Mihaly V., Morar D. and Dobra P. Worst-Case Execution Time Estimation for Numerical Controllers // 2022 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR), Cluj-Napoca, Romania. – 2022. – P. 1–6.
5. Zhang Bo and Tian Xiuwei. Design of a novel adaptive FIR filter based on FPGA // IEEE 2011 10th International Conference on Electronic Measurement & Instruments, Chengdu. – 2011. – P. 68–70.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА

Зотина А.А.<sup>1</sup>, Гаврилов В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Казанский государственный энергетический университет, группа ЭПМ-1-23,  
e-mail: zotina\_alena@mail.ru

<sup>2</sup> Казанский государственный энергетический университет, канд. техн. наук, доц.,  
e-mail: 2s19gavr@mail.ru

### Введение

Автоматизация наружного освещения представляет собой одну из наиболее актуальных, эффективных способов оптимизации энергопотребления и перспективных областей в настоящее время. Это направление понимает всю изобретательность из-за нескольких ключевых факторов.

Одной из основных причин актуальности автоматизации наружного освещения является необходимость экономии электроэнергии. Автоматизированные системы, оснащенные светодиодными светильниками и интеллектуальными алгоритмами управления, позволяют экономить потребление электроэнергии.

Автоматизация наружного освещения является актуальной и важной мерой для современных городов. Внедрение современных технологий и интеллектуальных систем управления является ключевым шагом в освоении наружного освещения, что делает этот процесс не только быстрым, но и перспективным для будущего [1].

### Основная часть

Автоматизация наружного освещения основана на использовании интеллектуальных систем управления. Эти системы можно разделить на два основных класса: автоматические системы управления (АСУ) и системы автоматического управления (САУ).

АСУ включает участие человека в контуре управления. Это означает, что оператор может вручную управлять режимами работы освещения, но также может использовать заранее заданные алгоритмы и расписания. Например, система может быть настроена на минимальное включение и выключение светильников по расписанию, но также позволяет оператору вмешиваться в случае необходимости.

САУ работают без участия человека в контуре управления. Эти системы полностью управляются по заранее заданным алгоритмам, которые могут включать в себя время восхода и захода солнца, движение и другие параметры. САУ обеспечивает автономность и экономию энергии, поскольку они могут регулировать уровень мощности в зависимости от внешних условий.

Автоматизация наружного освещения предполагает использование современных технологий и оборудования. Одним из основных компонентов являются электронные пускорегулирующие устройства (ЭПРА), которые позволяют управлять потребляемым током лампы и ее световым потоком. Это позволяет добиться снижения потребляемой мощности системы без полного отключения частей осветительных приборов, что обеспечивает равномерную освещенность дорожного полотна. Электронное пускорегулирующее устройство представлено на рис. 1.



Рис. 1. Электронный пускорегулирующий аппарат

Автоматизированные системы управления наружным освещением часто включают в себя средства связи, такие как радиоканалы, каналы связи GPRS, PLC, проводные и оптоволоконные линии связи. Эти средства обеспечивают передачу данных между пунктами включения (ПВ) и центральным диспетчерским пунктом (ЦДП), позволяют оперативно управлять освещением и контролировать состояние оборудования в первый момент времени [2].



Автоматизация наружного освещения многоквартирного дома имеет ряд существенных преимуществ:

1. Снижение энергопотребления. Автоматизированные системы могут снизить потребление электроэнергии на освещение до 30 % и более.

2. Автоматизация наружного освещения повышает уровень безопасности пешеходов и автомобилистов. Интеллектуальные системы управления достаточно освещают пространство.

3. Автоматизированные системы позволяют сократить расходы на техническое обслуживание светильников. Постоянный мониторинг состояния линий наружного освещения позволяет выявлять и устранять проблемы в режиме реального времени, что продлевает срок службы оборудования и уменьшает необходимость ремонтных работ.

4. Автоматизация наружного освещения обеспечивает удобное управление для оперативного персонала. Системами можно управлять из центрального диспетчерского пункта, а также из местных панелей управления.

Внедрение автоматизированной системы управления наружным освещением включает в себя несколько этапов.

На рис. 2 показана структура автоматической системы управления (АСУ). Система управления наружным освещением представляет собой двухуровневую структуру. Нижний уровень состоит из шкафа управления пункта включения (ШУ ПВ), верхний – из центрального диспетчерского пункта (ЦДП). От ЦДП подводятся команды управления освещением, которые передаются на нижний уровень для выполнения работ.



Рис. 2. Структура АСУ наружным освещением

Автоматизированные системы управления наружным освещением можно интегрировать с другими модулями, такими как системы видеонаблюдения и системы управления зданиями. Это позволяет создать комплексную систему управления, которая обеспечивает максимальный комфорт и безопасность жителей [3].

## Заключение

Автоматизированные системы могут обеспечивать безопасность передвижения людей, активируя освещение в определенных зонах при возникновении угрозы.

Автоматизация наружного освещения многоквартирного дома — это современное и эффективное решение, которое помогает снизить энергопотребление, а также снизить расходы на техническое обслуживание.

Внедрение таких систем не только экономически выгодно, но и экологически безопасно, поскольку оно позволяет снизить потребление электроэнергии и продлить срок службы оборудования. Автоматизация наружного освещения – это шаг в будущее, который делает жизнь более комфортной, безопасной и экономичной.

## Список использованных источников

1. Табунщиков Ю.А. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин. – Москва : АВОК-ПРЕСС, 2023. – 200 с.

2. Автоматическое управление светом [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ribosome.ru/daidzhest/avtomaticheskoe-upravlenie-svetom> (дата обращения 26.09.2024).

3. Боммел В. Ван. Качество освещения и эффективность: критический обзор [Текст] / В. Ван Боммел // Светотехника: сб. статей. – Москва, 2020. – Вып. 1. – С. 6–11.

## МОДЕЛЬ АЛЛОКАЦИИ ПАМЯТИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСОВ

Иванов Е.А.<sup>1</sup>, Мамонова Т.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Томский политехнический университет, группа А3-36, e-mail: eai13@tpu.ru

<sup>2</sup> Томский политехнический университет, к.т.н., доцент ОИС, e-mail: stepte@tpu.ru

### Введение

Устройства в основе которых лежат микроконтроллеры сегодня используются повсеместно. Данный факт обусловлен малыми размерами, низким энергопотреблением и способностью выполнять целый спектр задач. Однако вместе со всеми положительными аспектами у микроконтроллеров имеется ряд вычислительных ограничений. Одним из таковых является малый объем оперативной памяти. Использование стандартных средств языка для динамической аллокации в таком случае может привести к высокой степени фрагментации, утечкам памяти и практической сложности отслеживания свободного ее количества.

Целью данной работы является представление модели аллокации памяти, позволяющей частично или полностью нивелировать вышеописанные недостатки.

### Описание общей концепции

В общем случае существует два основных подхода к выделению памяти - статический и динамический [1]. Статическое выделение подразумевает выделение памяти на этапе загрузки программы. Размер статически выделяемой памяти определен заранее и не может быть изменен. Динамически выделяемая память, наоборот, позволяет аллоцировать участки оперативной памяти по ходу выполнения программы. Объем используемой динамической памяти зачастую невозможно предсказать, так как ее выделение может быть не ограничено самой программой.

Использование динамической памяти может привести к неконтрольному исчерпанию оперативной памяти. В связи с этим, для возможности динамического выделения памяти прибегают к выделению большого участка статической памяти, на базе которого позже выполняется динамическая аллокация. Данный подход иногда называют "динамической аллокацией на статической области" (dynamic allocation on a static pool). Существует ряд способов управления статической областью для получения желаемого результата. Наиболее частым из них является разбиение крупного участка статической памяти на сегменты фиксированного размера (чанки) [2, 3, 4, 5]. Вместе с этим составляется массив, состоящий из флагов. Данные флаги являются индикаторами занятости чанков статической области. Данная модель представлена на рис. 1.



Рис. 1. Базовая модель аллокации памяти

Красным - занятые чанки

Зеленым - свободные чанки

Данный подход позволяет отслеживать объем свободного количества оперативной памяти, однако имеет ряд недостатков. Самым существенным из них является избыточность выделяемой памяти. Независимо от требуемого количества памяти, выделяется всегда участок фиксированного размера. Для наиболее эффективного использования необходимо индивидуально для каждой программы рассчитывать оптимальный размер чанков. Данная модель также не предусматривает возможности дефрагментации. Далее предлагается модель, основанная на вышеописанной, однако предусматривающая компенсацию описанных недостатков.

### Описание предлагаемой реализации

В предлагаемой реализации также используется статическая область памяти. Однако, данная область не будет разбита на отдельные участки. Вместо этого в данной области будет формироваться двусвязный список. Каждый элемент списка имеет структуру, представленную на рис. 2.

Название поля	Адрес предыдущего участка	Адрес следующего участка	Размер текущего участка	Выделяемый участок данных
Возможный размер	UINT8 или UINT16 или UINT32 или UINT64	UINT8 или UINT16 или UINT32 или UINT64	UINT8 или UINT16 или UINT32 или UINT64	UINT8 [*]

Рис. 2. Структура элемента списка

Данная структура позволяет выделять произвольные по размеру участки памяти без избыточности. В таком подходе формирования отдельных чанков избыточность устраняется за счет четкого выделения необходимого количества памяти. Единственной избыточностью в данном подходе является формирование заголовка для каждого отдельного чанка. В худшем случае это добавляет к “полезному” размеру 24 байта. Однако данный параметр настраиваем и может быть адаптирован под отдельные случаи. Так, например, в случаях, если общий объем статической области не превышает 256 байт, то становится возможным использование размеров добавочных полей, равных 1 байту и избыточность составит всего 3 байта.

По сравнению с подходом с фиксированного размера участками, данный подход также позволяет эффективно выполнять автоматическую дефрагментацию при излишней раздробленности статической области памяти.

Основная идея автоматической дефрагментации заключается в использовании для выделения памяти, вместо обычного указателя, двойного указателя. Двойной указатель указывает на место хранения указателя на выделенный участок. Такой подход позволяет скрыть от пользователя подмену указателя на адрес выделенного чанка.

Это осуществимо дополнением структуры каждого элемента полем указания на адрес начала выделяемого участка (рис. 3).

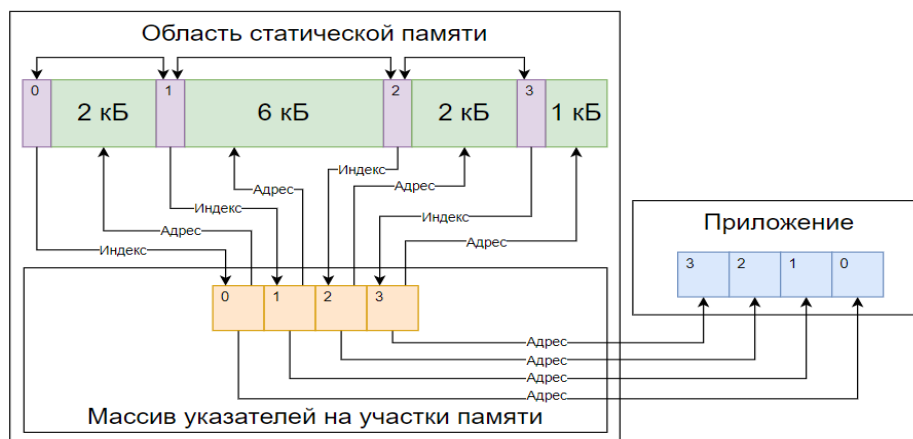
Название поля	Адрес предыдущего участка	Адрес следующего участка	Размер текущего участка	Индекс выделенного участка	Выделяемый участок данных
Возможный размер	UINT8 или UINT16 или UINT32 или UINT64	UINT8 или UINT16 или UINT32 или UINT64	UINT8 или UINT16 или UINT32 или UINT64	UINT8 или UINT16 или UINT32 или UINT64	UINT8 [*]

Рис. 3. Структура элемента списка с поддержанием возможности автоматической дефрагментации

Также необходимо завести отдельный массив, который будет хранить указатели на выделенные участки памяти. Индексы данного массива связаны со структурами элементов списка. Общая структура примера модели представлена на рис. 4.

Как можно заметить, данная модель строится на базе двусвязного списка. В заголовке каждого выделенного участка памяти хранится индекс элемента из массива, содержащего указатели на выделенные участки памяти. При выделении памяти пользователю возвращается указатель на элемент массива, хранящего адрес выделенного участка памяти.

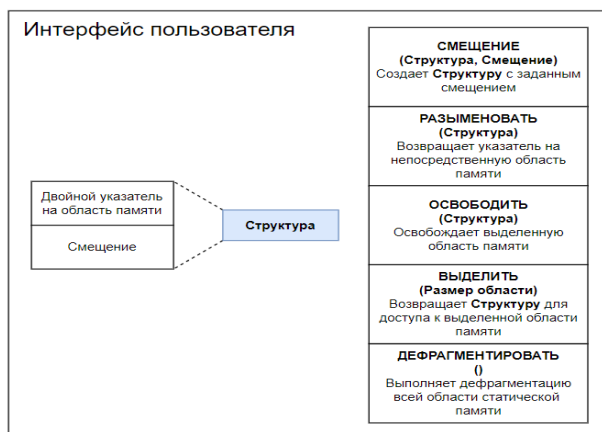
Таким образом, пользователь работает не напрямую с адресами выделенных участков памяти, а с указателями на области, где хранится указатель на выделенную область памяти. Это позволяет, скрыто от пользователя, выполнять дефрагментацию вручную пользователем, либо во время выделения/освобождения памяти по заданному критерию степени фрагментации (например, когда есть определенное количество малых фрагментов невыделенной памяти).



*Рис. 4. Пример общей структуры работы модели аллокатора:  
 Зеленый - используемая пользователем выделяемая область памяти  
 Фиолетовый - заголовки каждого выделенного участка памяти  
 Оранжевый - массив, хранящий адреса начала выделенных участков памяти  
 Голубой - адреса элементов массива указателей на выделенные участки памяти*

Особое внимание в данном случае стоит уделить работе с данными областями памяти. В классическом подходе работа с выделенной областью памяти происходит напрямую, через прямой указатель на нее. Однако, для текущей модели такой подход неприемлем, так как доступ к области памяти осуществляется посредством двойного указателя.

Для возможности работы с такой моделью аллокации предлагается введение отдельных структур данных, аналогичных классическим указателям и позволяющим выполнять операции классической арифметики указателей. Такая структура должна содержать в себе непосредственно двойной указатель на выделенную область памяти, а также смещение, которое будет обеспечивать выполнение арифметики указателей. Для удобства работы с данными сущностями создаются наборы функций. Пользовательский интерфейс работы с описываемой моделью аллокации представлена на рис. 5.



*Рис. 5. Интерфейс пользователя для работы с предлагаемой моделью статической аллокации*

Как итог, предлагаемая модель для работы с динамической аллокацией на статической области памяти позволяет выделять произвольные по размеру участки памяти. За счет использования заголовков для каждого выделяемого участка памяти удается добиться алгоритмической сложности поиска свободного участка памяти равного  $O(N)$ , где  $N$  - количество выделенных участков памяти. Сложность также возможно оптимизировать за счет кеширования адреса заголовка последнего выделенного участка памяти, в таком случае удастся добиться константной алгоритмической сложности  $O(1)$ . Кроме того, предлагаемая модель позволяет наиболее эффективно использовать всю доступную область памяти за счет периодической дефрагментации, позволяющей увеличить плотность хранения выделенных участков памяти. Однако, алгоритм дефрагментации имеет сложность, в лучшем случае,  $O(N)$ , где  $N$  - количество выделенных участков памяти.

Тем не менее, данная модель также содержит ряд недостатков. Один из наиболее существенных - большая стоимость доступа к элементам выделенной области памяти. Это обусловлено необходимостью доступа к выделенной области памяти посредством двойного разыменования адреса, в то время как при классическом подходе разыменование выполняется единожды. Помимо этого, поскольку для доступа к элементам выделенной памяти, необходимо использование интерфейса, может стать затруднительным использование некоторых сторонних библиотек, в которых предполагается использование стандартных механизмов адресации.

### **Заключение**

В данной работе был предложен подход, позволяющий выполнять динамическое выделение памяти на статической области. Описан ряд преимуществ, которые приносит данная модель аллокации, среди которых возможность выделения произвольных по размеру участков памяти, а также возможность автоматической или ручной дефрагментации. Также был описан ряд недостатков, наиболее существенными среди которых являются увеличенные затраты ресурсов вычислительного устройства при получении доступа к выделенной области памяти, а также потенциальная сложность использования данного подхода при работе с внешними библиотеками.

В дальнейшем предполагается доработка модели аллокации, в частности введение возможности настройки отдельных ее компонент.

### **Список использованных источников**

1. Scott M. Programming Language Pragmatics, Third Edition – 2018.
2. Yongwei's Programming Page // Design and Implementation of a Static Memory Pool: сайт. – URL: [http://wyw.dcweb.cn/static\\_mem\\_pool.html](http://wyw.dcweb.cn/static_mem_pool.html).
3. Compilers // Writing a Pool Allocator: сайт. – URL: <http://dmitrysoshnikov.com/compilers/writing-a-pool-allocator/#block-allocation>.
4. Medium // Memory Pool Techniques in C++: сайт. – URL: <https://medium.com/@threehappyer/memory-pool-techniques-in-c-79e01f6d2b19>.
5. Pink Squirrel Labs // Fixed Memory Pool Design: сайт. – URL: <http://www.pinksquirrellabs.com/blog/2018/01/31/-fixed-memory-pool-design/>.

# ОРГАНИЗАЦИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ИНТЕРФЕЙСОВ ETHERNET-RS485 В ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ НА JAVA

*Иванов Д.А.*

*ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного» МО РФ, г. Санкт-Петербург, РФ, старший оператор роты (научной),  
ivanov.dimok2000@yandex.ru*

## **Введение**

В современных промышленных и автоматизированных системах часто возникает необходимость интеграции устройств с различными интерфейсами передачи данных, таких как Ethernet и RS485. Преобразователи интерфейсов Ethernet-RS485 играют ключевую роль в обеспечении связи между устройствами с различными протоколами, позволяя им обмениваться информацией в рамках локальной сети. Однако, для эффективной работы сети необходимо иметь механизм автоматического обнаружения таких преобразователей, особенно при наличии большого количества устройств. Организация процесса обнаружения преобразователей интерфейсов Ethernet-RS485 в локальной сети может значительно упростить настройку и управление системой, исключая ручное конфигурирование каждого устройства.

## **Описание проблематики**

Преобразователи интерфейсов Ethernet-RS485 используются для подключения устройств, работающих по протоколу RS485, к локальной сети Ethernet [1]. Это позволяет объединить оборудование с различными интерфейсами в единую систему управления и мониторинга. Однако в условиях динамически изменяющихся сетей или при добавлении новых устройств возникает проблема автоматического обнаружения преобразователей и их конфигурации. Необходимость автоматического обнаружения преобразователя Ethernet-RS485 особенно важна для систем, где количество подключенных устройств может варьироваться, и ручная настройка становится неэффективной. Для решения этой задачи можно разработать программное обеспечение, которое будет сканировать локальную сеть и автоматически идентифицировать такие устройства.

Основная задача программы заключается в сканировании сети для нахождения активных преобразователей интерфейсов. Процесс обнаружения можно разделить на несколько этапов:

1. Сканирование локальной сети: на этом этапе программа выполняет сканирование диапазона IP-адресов в локальной сети или отправляет широковещательные запросы. Цель этого этапа – обнаружение всех активных устройств в сети, которые потенциально могут быть преобразователями Ethernet-RS485. Этот этап является важным, так как сеть может содержать множество различных устройств, и наша задача – выделить среди них те, которые поддерживают нужные функции. Программа отправляет запросы на IP-адреса и отслеживает ответы от активных устройств.

2. Установление соединения: после того как устройство было обнаружено, программа должна проверить, доступен ли преобразователь через конкретный сетевой порт, который используется для передачи данных (например, порт 502 для протокола Modbus TCP). Этот этап необходим для подтверждения того, что устройство готово к взаимодействию и поддерживает нужные сетевые функции. Успешное установление TCP-соединения указывает на то, что устройство находится в рабочем состоянии и может принимать команды.

3. Отправка запросов и получение ответов: после установления соединения программа должна отправить запросы по поддерживаемому устройством протоколу, чтобы получить информацию, необходимую для его идентификации. Один из наиболее распространённых протоколов для работы с преобразователями интерфейсов – это Modbus TCP. Программа отправляет запрос на чтение регистров устройства, где содержатся данные, такие как серийный номер, модель, статус и другие параметры. Это позволяет точно определить, является ли устройство преобразователем Ethernet-RS485, и получить о нём дополнительную информацию.

4. Анализ и обработка данных: после получения ответа от устройства программа анализирует содержимое переданных данных. Этот этап важен для того, чтобы правильно интерпретировать полученную информацию. Например, устройство может предоставить данные о своем состоянии, таких как напряжение, текущий режим работы, номер версии прошивки и другие технические характеристики. Эти данные помогают в дальнейшем управлении устройством и его настройке.

5. Вывод и логирование результатов: после успешного завершения всех предыдущих этапов программа выводит результаты обнаружения для пользователя. Информация может включать IP-адрес устройства, модель преобразователя, текущие параметры работы и другие данные, которые могут быть полезны для мониторинга системы. Программа также может сохранять результаты в логах или базе данных для дальнейшего анализа, что позволяет следить за изменениями в сети и выявлять новые устройства по мере их подключения.

Реализация программы для обнаружения преобразователя интерфейсов Ethernet-RS485 в локальной сети на Java включает несколько ключевых этапов, которые последовательно выполняются для точного определения и идентификации устройства. Эти этапы включают сканирование сети, установление соединений, отправку запросов по нужному протоколу, а также обработку и анализ ответов для точного подтверждения наличия преобразователя.

Сканирование сети – это основной этап, на котором программа определяет активные устройства в заданной локальной сети. Программа использует пинг-запросы или другие сетевые механизмы для проверки доступности устройств по IP-адресам.

В локальной сети устройства могут быть распределены по диапазону IP-адресов, и наша задача – пройти по каждому из них, чтобы проверить, активны ли эти устройства. Использование многопоточности на этом этапе позволяет значительно ускорить процесс сканирования, так как запросы могут обрабатываться параллельно.

Широковещательные запросы (broadcast) также могут использоваться для обнаружения всех устройств в сети. Это может быть полезным, если программа должна работать в сетях с большим количеством подключенных устройств, и отправка запросов по каждому IP-адресу становится неэффективной. Примером может служить отправка ARP-запросов для определения MAC-адресов активных устройств, что даёт быстрый отклик от всех узлов [2].

Кроме того, сканирование должно учитывать возможность возникновения ошибок сети или ситуаций, когда устройства не отвечают на запросы вовремя, из-за чего может потребоваться корректная обработка таймаутов и повторные попытки отправки запросов. Эти моменты важны для повышения надёжности программы. Пример кода для сканирования всех IP-адресов в подсети изображен на рис. 1.

```
public void scanNetwork(String subnet) { no usages
    ExecutorService executor = Executors.newFixedThreadPool( nThreads: 50); // Многопоточность для ускорения
    for (int i = 1; i < 255; i++) { // Перебираем последние октеты IP
        String host = subnet + "." + i;
        executor.submit() -> {
            try {
                if (InetAddress.getByName(host).isReachable( timeout: 200)) { // Время ожидания ответа 200 мс
                    System.out.println("Устройство найдено: " + host);
                    checkForConverter(host); // Проверяем устройство на наличие преобразователя
                }
            } catch (IOException e) {
                System.err.println("Ошибка при попытке достичь IP: " + host);
            }
        };
    }
    executor.shutdown();
}
```

Рис. 1. Код для сканирования всех IP-адресов в подсети

После успешного обнаружения активных устройств следующим шагом становится установление соединения. Преобразователи интерфейсов Ethernet-RS485 работают на основе стандартных сетевых протоколов, таких как TCP/IP, что даёт возможность программно подключаться к ним по определённым портам.

На этапе установления соединения важно учитывать, что не каждое активное устройство в сети является преобразователем Ethernet-RS485. Многие устройства могут использовать тот же диапазон IP-адресов, но не предоставлять нужные нам сервисы. Поэтому программа должна проверять возможность подключения к конкретным портам, характерным для нужного типа устройств. Если подключе-



ние по нужному порту не удаётся, это означает, что данное устройство, скорее всего, не является преобразователем, и его можно исключить из дальнейшего анализа. Пример кода для проверки соединения по порту 502 изображен на рис. 2.

```
public boolean checkForConverter(String host) { 1 usage
    try (Socket socket = new Socket()) {
        socket.connect(new InetSocketAddress(host, port: 502), timeout: 200); // Таймаут 200 мс
        System.out.println("Соединение с " + host + " установлено на порту 502.");
        sendModbusRequest(host); // Если соединение установлено, отправляем запрос
        return true;
    } catch (IOException e) {
        System.out.println("Не удалось подключиться к " + host + " на порту 502.");
        return false;
    }
}
```

Рис. 2. Код проверки возможности подключения по порту 502

После успешного установления соединения программа должна выполнить процесс взаимодействия с устройством для получения необходимых данных. Одним из наиболее распространённых способов взаимодействия с преобразователями интерфейсов Ethernet-RS485 является использование протокола Modbus TCP [3]. Этот протокол позволяет отправлять запросы на чтение или запись регистров, которые содержат важную информацию о состоянии устройства.

Важно отметить, что, получив ответ от устройства, необходимо убедиться, что данные действительно принадлежат преобразователю Ethernet-RS485. Это можно сделать на основании структуры ответа и анализируемых регистров. Например, устройство может вернуть модель, серийный номер или информацию о протоколе связи, что поможет точно идентифицировать его как преобразователь.

Обработка данных требует точности, так как ответ устройства может содержать ошибки или недостоверные данные. Например, если устройство не поддерживает запрашиваемый тип данных, оно может вернуть сообщение об ошибке. Программа должна корректно обрабатывать такие ситуации и выводить их для пользователя.

На завершающем этапе программа должна обработать все полученные данные и представить их пользователю в удобной форме. Если устройство успешно идентифицировано как преобразователь Ethernet-RS485, программа выводит соответствующую информацию, такую как:

- IP-адрес устройства;
- модель преобразователя;
- текущий режим работы;
- другие данные, которые могут быть полезны для настройки и мониторинга.

## Заключение

Таким образом, реализация программы для автоматического обнаружения преобразователя Ethernet-RS485 в локальной сети на языке Java предоставляет эффективный инструмент для управления промышленными и автоматизированными системами, повышая их гибкость и надёжность.

## Список использованных источников

1. Преобразователь интерфейсов USB/RS-485 [Текст : электронный] // BOLID системы безопасности: официальный сайт. – 2024. – URL: [https://bolid.ru/files/373/566/USB\\_RS485\\_rept\\_dec\\_20.pdf?ysclid=m0uese1wgt941775052](https://bolid.ru/files/373/566/USB_RS485_rept_dec_20.pdf?ysclid=m0uese1wgt941775052) (дата обращения: 08.10.2024).
2. Хабибуллин И.Ш. Самоучитель Java. – СПб. : БХВ-Петербург, 2001. – 464 с.
3. Краткое описание протокола Modbus/RTU [Текст : электронный] // Интеллект модуль : официальный сайт. – 2024. – URL: [https://intellect-module.ru/downloads/manuals/inode\\_35D/Mod-Bus\\_RTU.pdf?ysclid=m0uezejw7rm25150880](https://intellect-module.ru/downloads/manuals/inode_35D/Mod-Bus_RTU.pdf?ysclid=m0uezejw7rm25150880) (дата обращения: 08.10.2024).



# РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Ильин В.И.

НИ ТПУ, ИШИиЭС, группа 6В41ПИШ, email: wasilij1711@tpu.ru

## Введение

Развитие систем машинного зрения является очень перспективным направлением. Одной из важных частей программного обеспечения машинного зрения является аналитика видеоданных и обнаружение на них объектов окружения. Для качественного решения этой задачи необходимо реализовать алгоритм семантической сегментации изображения, применяемый при обработке полученных материалов.

Целью работы стало создание алгоритма семантической сегментации изображения, который можно было бы применить при решении практических задач.

Задачи, поставленные для достижения цели выглядят следующим образом.

1. Выбрать готовый вариант и доработать, либо же разработать архитектуру нейросети.
2. Найти и подготовить базу данных для обучения и тестов нейросети.
3. Провести эксперимент по обучению и тестам нейросети.

## Семантическая сегментация

Сначала необходимо разобраться в двух вопросах: «Что такое семантическая сегментация?» и «Как можно применить семантическую сегментацию?». Семантическая сегментация – это процесс разбиения получаемого изображения на отдельные элементы, которые присваиваются какому-либо классу или категории. Пример сегментации представлен на рис. 1.

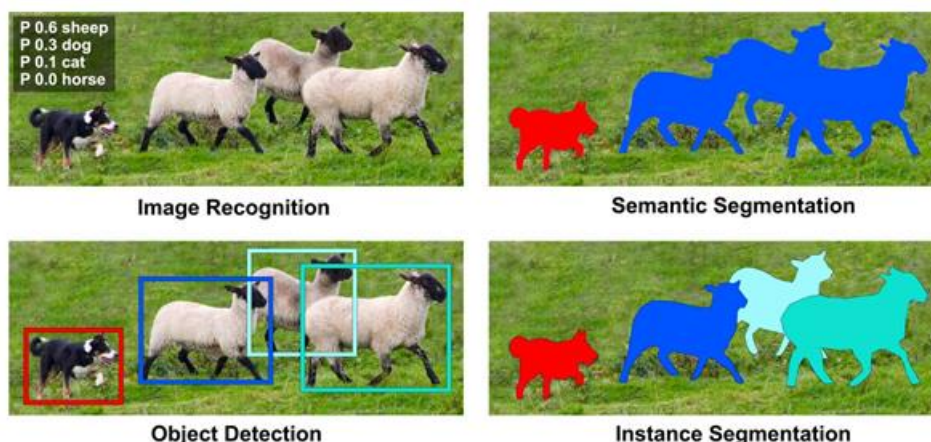


Рис. 1. Семантической сегментации изображения [1]:  
Осуществлялось разбиение по 4 классам: собаки, кошки, овцы и лошади

Применяются подходы семантической сегментации в областях, где необходимо четкое деление на объекты при анализе изображений. Примерами таких областей служат машинное зрение, медицинское изображение и автономная навигация.

## Модель нейросети

После анализа возможных моделей нейросети была выбрана модель сверточной нейросети. Выбрана была именно эта модель из-за ряда преимуществ, присущих ей. Во-первых, сверточные нейросети позволяют использовать удобные параллельные вычисления, что позволяет использовать и обучать нейросеть на графическом процессоре, что и будет использоваться в дальнейшем. Во-вторых, сверточные нейросети имеют меньшее количество настраиваемых весов, в отличие от полноразмерных, что позволяет снизить сложность выполнения, а при обучении прийти к обобщению демонстрируемой информации, а не попиксельному запоминанию [2].

Архитектуру было решено взять у сверточной нейросети U-Net. U-Net – это сверточная нейросеть, архитектура которой представляет полносвязную сеть, модифицированную так, чтобы она могла работать с меньшим количеством примеров [3]. Названа нейросеть так из-за того, что её архитектура представляет из себя конвертацию слоёв в форме буквы U, что представлено на рис. 2.

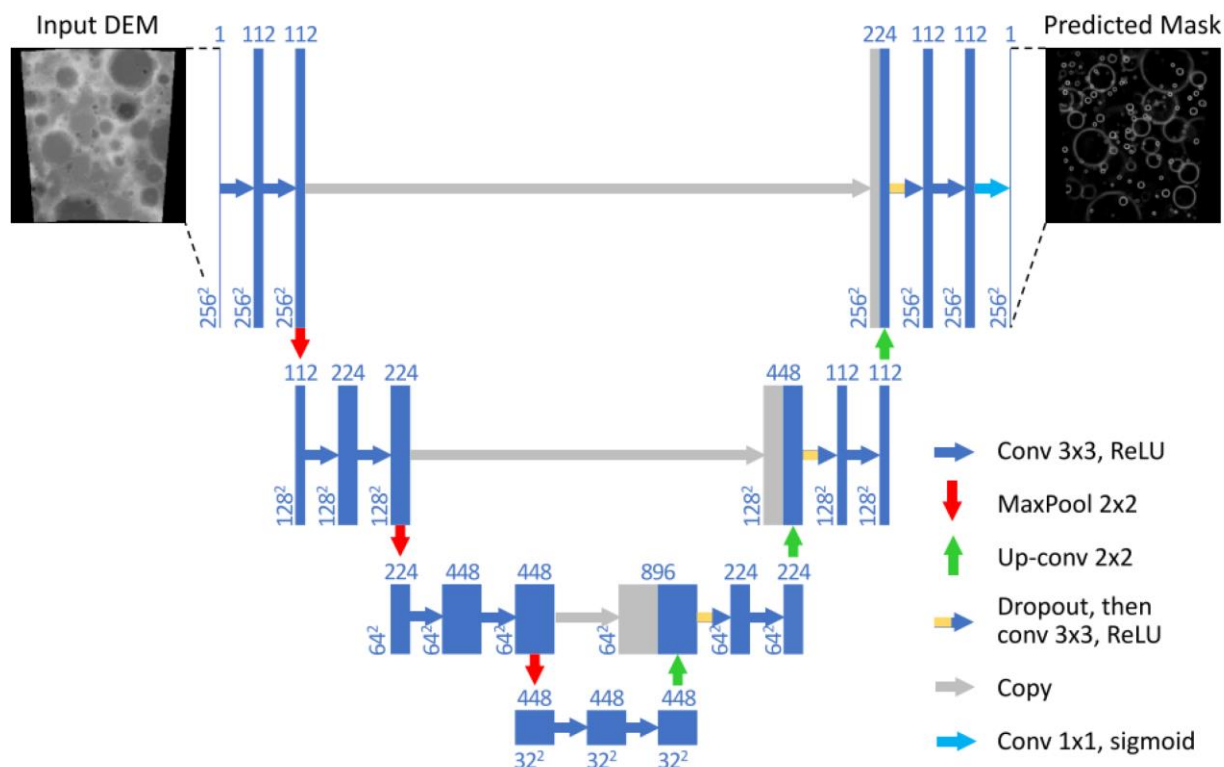


Рис. 2. Архитектура нейросети U-Net

### Реализация

Реализация нейронной сети осуществляется на языке программирования Python. Связан такой выбор с тем, что язык программирования Python хорошо подходит для работы с данными в той или иной форме, что необходимо при обработке информации с фотографий. Также Python поддерживает большое количество пользовательских библиотек и расширений, некоторые из которых активно используются при создании нейросети, например, библиотеки NumPy, Keras, Matplotlib и другие. Сами тесты и обучения осуществляются на платформе Google Colaboratory, так как эта платформа позволяет подключать графическую память с серверов при запуске кода, что необходимо для корректной работы сверточной нейросети.

### Заключение

Нейросети, позволяющие осуществлять семантическую сегментацию изображений очень сильно помогают при решении некоторых задач современности, поэтому стоит понимать их логику и принципы работы, чтобы создавать не только уже существующие модели, но и перерабатывать их, создавая новые поколения моделей, работающие в разы быстрее и корректнее.

### Список литературы

1. Сегментация экземпляров с помощью Mask R-CNN // Habr.ru: Машинное обучение : сайт. – 2022. – URL: <https://habr.com/ru/articles/665300/> (дата обращения: 19.09.2024)
2. Бородин Г.Д. Краткий обзор и классификация искусственных нейронных сетей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=blhmxx&ysclid=lkwvnb1uk797943160> (дата обращения: 17.09.2024)
3. Olaf Ronneberger Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation / Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, Thomas Brox. – Германия : Computer Science Departmen, 2015. – 8 с.

# СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ДАТЧИКОМ ДИСТАНЦИИ «HC-SR04» ПРИ ПОМОЩИ ОДНОГО ЦИФРОВОГО ПОРТА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА «STM32F042F6P6»

Калибабчук А.О.<sup>1,2</sup>, Калибабчук М.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ, г. Санкт-Петербург, РФ, [armterrus@gmail.com](mailto:armterrus@gmail.com)

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», г. Москва, РФ, [tryazanova1@mail.ru](mailto:tryazanova1@mail.ru)

## Введение

Современные комплексные системы, роботизированные комплексы, установки и многое другое оборудование оснащается большим количеством датчиков, исполнительных механизмов, двигателей и других систем, которые необходимо подключать к микроконтроллеру для их управления и контроля. Важным аспектом является то, что количество выводов микроконтроллера с определенными заложенными функциями ограничено. Одним из способов решения проблемы нехватки количества портов в микроконтроллере является применение шинных систем связи в устройствах. Это позволяет связывать датчики, микроконтроллеры и другие устройства единой шиной данных. В таком способе скорость обмена информацией может уменьшаться за счет использования дополнительных устройств – шинных контроллеров, так как многие датчики не могут быть непосредственно подключены к шине. В этой работе предлагается рассмотреть способ подключения и управления датчиком с одним входом и одним выходом при помощи одного цифрового порта микроконтроллера. Причем питание и управление микроконтроллером и датчиком осуществляется разным уровнем напряжения.

## Описание схемы

Цифровой порт микроконтроллера «STM32F042F6P6», согласно спецификации, подаёт на выход напряжение +3В, аналогично на вход принимается напряжение также в +3В. В свою очередь датчик «HC-SR04» питается от напряжения +5В и его управление соответственно происходит напряжением в +5В. Ответ с датчика приходит на уровне +5В. Таким образом в первую очередь появляется необходимость развязать по уровню напряжения порт микроконтроллера и порты датчика дистанции.

На рис. 1 показана схема выводов датчика «HC-SR04». На рисунке 2 приведена временная диаграмма работа этого же датчика, которая приведена в его спецификации. Согласно ей видно, что датчик дистанции никогда одновременно не получает входной сигнал и не отдает выходной. Тогда управление одним портом микроконтроллера становится возможным, но сигналы необходимо развязать. Для этого используем систему с диодами. А для изменения уровня сигнала используем оптрон «LTV-817S-TA1-C». Из её спецификации видно, что его максимальный выходной ток в цепи коллектор-эмиттер составляет до 50 мА, а поддерживаемое напряжение – до +35В. Таким образом этот оптрон подходит для управления используемым датчиком дистанции.

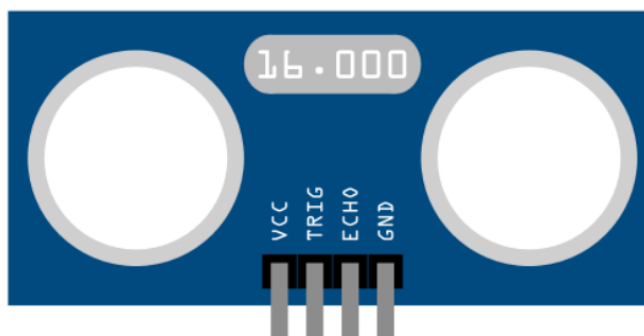


Рис. 1. Схема выводов датчика «HC-SR04»:

VCC – Питание +5В;

TRIG – вход датчика +5В, принимающий инициализирующий измерение сигнал;

ECHO – выход датчика +5В, выдает результат измерения дистанции;

GND – подключение датчика к заземлению

## Sequence chart

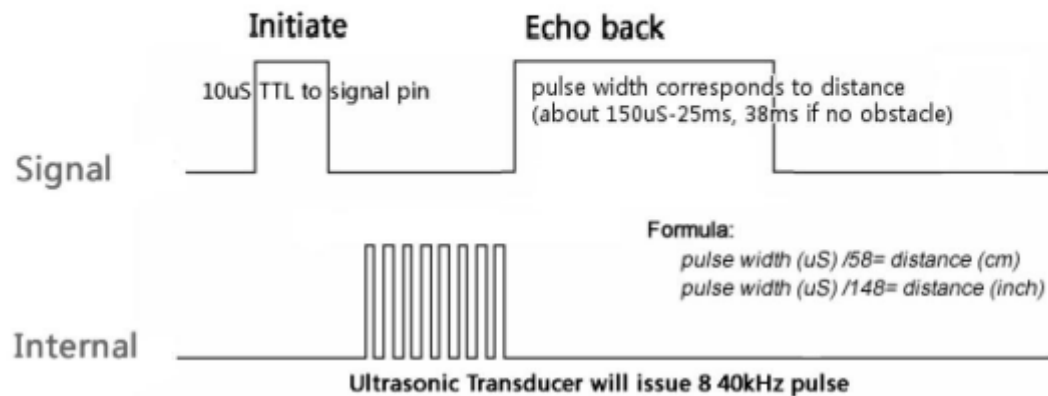


Рис. 2. Временная диаграмма работы датчика «HC-SR04»:

VCC – Питание +5В;

Signal – внешнее подключение входа и выхода датчиков;

Internal – внутренний процесс обработки сигналов в датчике;

Initiate – входной сигнал, инициализация датчика;

Echo back – выходной сигнал, отправка информации об измеренной дистанции

В полученной принципиальной схеме также используется выключающее или «SN74АНС1G86DBVR», а также защитные диоды в корпусе «SOD-523» и защитные резисторы. Резисторы на схеме рассчитаны под ток 5 мА на входе МК при напряжении 3,3 В и на ток 15 мА на выводах датчика дистанции при напряжении 5 В. Получим резисторы в 665 и 220 Ом соответственно. Резисторы выполнены в корпусе SMD 0603, который рассчитан на мощность, развиваемую в цепи (мощность резистора в данном корпусе не более 0,1 Вт). Подтяжку линии к +3,3 В и +5,5 В осуществим резисторами на 10 кОм в том же корпусе.

Для подключения датчика к плате будем использовать 4-х канальный разъём JST BM04B-SRSS-TB с максимальным напряжением в 50 В. На рисунке 3 приведена предлагаемая принципиальная схема подключения датчика дистанции к порту микроконтроллера (линия, уходящая вниз).

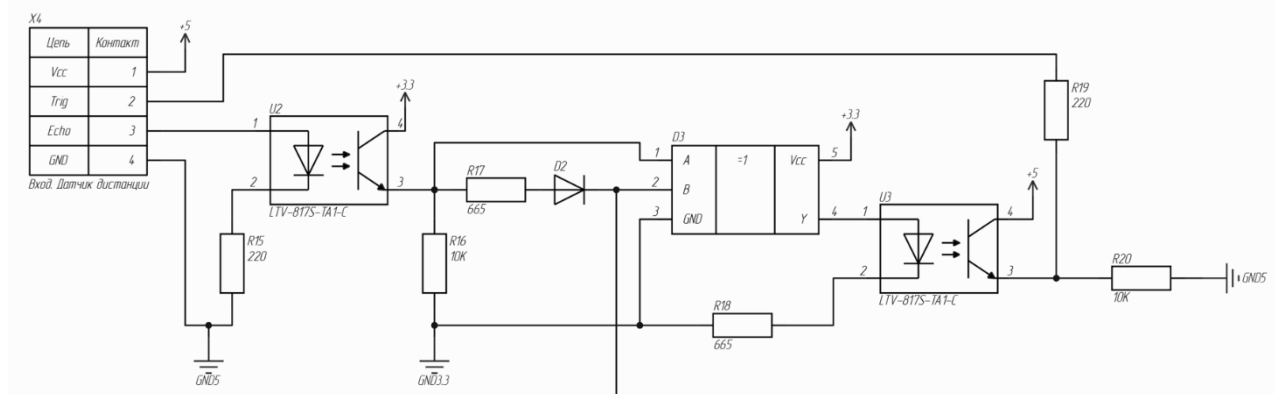


Рис. 3. Принципиальная схема подключения датчика дистанции

Рассмотрим цикл изменения сигналов, которые будут фигурировать в этой схеме. Они приведены в таблице 1 в виде логических уровней выводов. Заметим, что в 1 и 3 такте цикла опроса на выходе В может оставаться остаточный заряд, который не подтягивается к земле, чем могут вызываться помехи на выводе Y. Для этого будем использовать push-pull режим работы вывода микроконтроллера «STM-32», в котором вывод внутри самого микроконтроллера подтягивается к земле или к выходному напряжению через внутренний резистор с большим сопротивлением. Таким образом решим проблему стягивания заряда на землю в режиме нулевого сигнала на выводе микроконтроллера.

## Цикл опроса датчика дистанции. Логические уровни

№ такта	Наименования выводов на принципиальной схеме						
	Режим работы	Порт «STM-32»	B	Echo	A	Y	Trig
		Логический уровень					
1	Выход	0	0	0	0	0	0
2	Выход	1	1	0	0	1	1
3	Вход	0	0	0	0	0	0
4	Вход	1	1	1	1	0	0

**Заключение**

В данной работе был рассмотрен способ подключения и управления датчиком с одним входом и одним выходом через один цифровой порт микроконтроллера. Применение данного метода позволяет оптимизировать использование ограниченного количества выводов микроконтроллера, что особенно актуально для современных комплексных систем с большим числом подключаемых устройств. Предложенное решение демонстрирует возможность интеграции датчиков с различными уровнями напряжения питания и управления, что расширяет спектр применяемых датчиков в системах автоматизации. Дальнейшая работа может быть направлена на исследование скорости переключения между режимами работы на вход или на выход одного порта микроконтроллера.

**Список использованных источников**

1. Следящие приводы: В 3 т. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Б.К. Чемоданова. Т. 2: Электрические следующие приводы / Е.С. Блейз, В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 880 с.
2. Жмудь В.А., Кондратьев Н.О., Кузнецов К.А., Трубин В.Г., Димитров Л.В. Ультразвуковой датчик измерения расстояния HC-SR04 // Автоматика и программная инженерия. – 2017. – № 4 (22). – URL: <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/AaSI-4-2017-2.pdf> (дата обращения 09.01.2024).
3. Спецификация МК STM32F042F6P6 URL: <https://static.chipdip.ru/lib/001/DOC013001628.pdf> (дата обращения 09.01.2024).
4. Семенов Д.А. Разработка и исследование методов управления датчиками через микроконтроллеры / Д.А. Семенов. – Дисс. канд. техн. наук. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. – 150 с.
5. Головки В.М. Микроконтроллеры и их применение в системах управления / В.М. Головки. – М. : Радио и связь, 2018. – 320 с.

# АДАПТИВНЫЕ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ВОЕННЫХ ИТ-СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ КИБЕРУГРОЗ

*Калинин Н.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ, г. Санкт-Петербург, [xorsst@gmail.com](mailto:xorsst@gmail.com)

## **Введение**

Современные военные ИТ-сети представляют собой сложные и многоуровневые системы, которые обеспечивают выполнение критически важных задач, связанных с национальной безопасностью, командованием и управлением. С развитием технологий и увеличением зависимости от информационных систем возрастает и количество киберугроз, что делает управление информационной безопасностью одной из наиболее актуальных задач для военных организаций. Киберугрозы могут варьироваться от простых атак с использованием вредоносного ПО до сложных операций, направленных на разрушение критической инфраструктуры.

В современных условиях киберугроз управление информационной безопасностью военных ИТ-сетей становится одной из важнейших задач для обеспечения национальной безопасности. Военные организации сталкиваются с многообразием угроз, которые могут варьироваться от простых атак до сложных операций, направленных на разрушение критической инфраструктуры. Адаптивные стратегии управления информационной безопасностью позволяют не только реагировать на текущие угрозы, но и предсказывать будущие риски, что критически важно в условиях динамично меняющегося киберпространства.

## **Основная часть**

Одной из ключевых задач является классификация угроз, с которыми могут столкнуться военные ИТ-сети. Вредоносное программное обеспечение, такое как вирусы и черви, представляет собой одну из самых распространенных угроз. Эти программы могут красть данные, уничтожать информацию или даже контролировать оборудование. Примеры таких атак, как Stuxnet, показывают, насколько разрушительными могут быть последствия, если вредоносное ПО используется для целенаправленного разрушения критически важных объектов. ДДос-атаки также представляют собой серьезную угрозу, способную парализовать командные центры и снизить боеспособность вооруженных сил. Примеры атак на инфраструктуру, такие как атака на Дун в 2016 году, демонстрируют, как быстро можно вывести из строя целые системы.

Социальная инженерия – еще один важный аспект угроз для военных ИТ-сетей. Методы манипуляции людьми с целью получения доступа к защищенной информации становятся все более разнообразными и непредсказуемыми. Фишинг и другие методы социальной инженерии могут привести к утечкам конфиденциальной информации и серьезным последствиям для безопасности. Внутренние угрозы также требуют внимания; сотрудники или подрядчики с доступом к системам могут случайно или намеренно причинить ущерб.

Для эффективного управления информационной безопасностью необходимо применять многослойный подход. Это включает физическую защиту серверов и контроль доступа, сетевые решения, такие как межсетевые экраны и системы предотвращения вторжений, а также программные решения, включая антивирусные программы и системы обнаружения вредоносного ПО. Многослойная защита создает комплексную систему безопасности, способную противостоять различным видам атак.

Современные технологии, такие как искусственный интеллект, играют важную роль в управлении информационной безопасностью. ИИ может использоваться для мониторинга сетевого трафика и выявления аномалий в реальном времени. Прогнозирование атак на основе исторических данных позволяет заранее принимать меры для предотвращения инцидентов. Автоматизация процессов реагирования на инциденты также значительно сокращает время устранения угроз. Автоматизированные системы могут блокировать подозрительные IP-адреса или отключать зараженные устройства без вмешательства человека.

Обучение персонала является неотъемлемой частью стратегии управления информационной безопасностью. Регулярные семинары и тренинги по повышению осведомленности о киберугрозах помогают сотрудникам лучше понимать риски и способы их предотвращения. Симуляции атак позволяют отработать действия в экстренных ситуациях, что повышает готовность к реальным угрозам.

Интеграция новых технологий является важным аспектом адаптивных стратегий управления безопасностью. Блокчейн-технологии могут использоваться для обеспечения целостности данных и защиты от несанкционированного доступа благодаря своей децентрализованной природе. Облачные решения обеспечивают гибкость и масштабируемость систем безопасности, позволяя быстро адаптироваться к изменяющимся условиям. Квантовые технологии обещают революционизировать подходы к шифрованию и защите данных, обеспечивая уровень безопасности, недоступный для традиционных методов.

Примеры успешного применения адаптивных стратегий показывают их эффективность в реальных условиях. В одной из стран была внедрена система мониторинга на основе ИИ, которая значительно сократила время реагирования на инциденты. После внедрения системы время на обнаружение угроз сократилось с нескольких часов до нескольких минут, что позволило избежать серьезных инцидентов. Анализ показал, что использование адаптивных стратегий позволило снизить количество успешных атак на 40% за год и повысить уровень осведомленности сотрудников о киберугрозах.

Будущее информационной безопасности в военной сфере будет зависеть от дальнейшего развития технологий и методов защиты. Ожидается, что новые технологии, такие как квантовые вычисления и ИИ, будут способствовать созданию более эффективных систем защиты. Рекомендуется продолжать инвестировать в исследования и разработки в области информационной безопасности, а также разрабатывать стратегии, способные адаптироваться к меняющимся условиям.

Адаптивные стратегии управления информационной безопасностью являются необходимым условием для защиты военных ИТ-сетей от современных киберугроз. Внедрение многослойной защиты, использование искусственного интеллекта и новых технологий, а также обучение персонала помогут обеспечить надежную защиту критически важных систем и данных. На фоне растущих угроз важно не только реагировать на инциденты, но и предсказывать их появление, что требует постоянного мониторинга и анализа текущей ситуации в области кибербезопасности.

Таким образом, военные организации должны активно развивать свои подходы к управлению информационной безопасностью, применяя адаптивные стратегии для обеспечения защиты своих ИТ-сетей от разнообразных киберугроз. Это требует не только технологических решений, но и изменения культуры безопасности внутри организаций, что позволит создать более устойчивую к угрозам среду. В конечном итоге успешное управление информационной безопасностью будет способствовать укреплению национальной безопасности и повышению эффективности выполнения военных задач в условиях современного киберпространства.

## **Заключение**

Адаптивные стратегии управления информационной безопасностью военных ИТ-сетей в условиях киберугроз представляют собой неотъемлемую часть обеспечения национальной безопасности и защиты критически важных данных. В условиях стремительно развивающихся технологий и увеличения числа киберугроз военные организации сталкиваются с необходимостью постоянной адаптации своих подходов к безопасности. Угрозы, такие как вредоносное ПО, ДДос-атаки и социальная инженерия, требуют комплексного и многослойного подхода к защите информации. Внедрение современных технологий, таких как искусственный интеллект и блокчейн, позволяет значительно повысить эффективность обнаружения и предотвращения инцидентов.

Особое внимание следует уделять обучению персонала, поскольку человеческий фактор часто становится слабым звеном в системе безопасности. Регулярные тренинги и симуляции атак помогают повысить осведомленность сотрудников о возможных рисках и действиях в экстренных ситуациях. Интеграция новых технологий и автоматизация процессов реагирования на инциденты также играют ключевую роль в создании адаптивной системы безопасности, способной быстро реагировать на изменяющиеся условия.

Примеры успешного применения таких стратегий показывают их эффективность и необходимость их дальнейшего развития. Снижение времени реагирования на инциденты и уменьшение количества успешных атак подтверждают, что адаптивные подходы действительно способны повысить уровень безопасности. Важно отметить, что будущее информационной безопасности в военной сфере будет зависеть от способности организаций к постоянному мониторингу угроз и внедрению инновационных решений.

Таким образом, адаптивные стратегии управления информационной безопасностью должны стать приоритетом для военных организаций. Это требует не только технологических инвестиций, но



и изменения культуры безопасности внутри организаций, что позволит создать устойчивую к киберугрозам среду. Успешное управление информационной безопасностью не только укрепляет национальную безопасность, но и повышает общую эффективность выполнения военных задач в условиях современного киберпространства. В конечном итоге, способность предсказывать и предотвращать угрозы станет ключевым фактором в обеспечении защиты военных ИТ-сетей, что требует постоянного внимания и проактивного подхода со стороны всех участников процесса.

#### **Список использованных источников**

1. Надеждин Е.Н. Стратегия ситуационного управления информационной безопасностью в корпоративных вычислительных сетях образовательных учреждений // Научный поиск. – 2014. – № 2.5. – С. 30–33.
2. Коршунов Г.И. и др. Метод адаптивного управления защитой информационно - вычислительных сетей на основе анализа динамики действий нарушителя // Информационно-управляющие системы. – 2018. – № 4 (95). – С. 61–72.
3. Добрышин М.М. Направления развития и задачи повышения эффективности адаптивных систем обеспечения информационной безопасности // Экономика и качество систем связи. – 2022. – № 3 (25). – С. 46–54.
4. Басыня Е.А. Разработка и исследование системы интеллектуально-адаптивного управления трафиком вычислительной сети: дис. – Новосиб. гос. техн. ун-т, 2014.
5. Канавин С.В. К вопросу выбора стратегии защиты системы связи специального назначения при угрозах информационной безопасности // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2021. – Т. 9. – № 3. – С. 21–22.
6. Бокова О.И., Канавин С.В., Хохлов Н.С. Оценка возможного ущерба и времени реакции комплекса средств противодействия на реализацию угроз информационной безопасности сети связи специального назначения // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8. – № 4. – С. 33–34.
7. Французова Г.А., Гунько А.В., Басыня Е.А. Применение искусственного интеллекта в сфере сетевой информационной безопасности / Под редакцией д. филос. н. ЕА Никитиной Рецензенты: д. ф. м. н., проф. ВГ Редько д. филос. н., проф. Т. Н Семенова. – 2013. – С. 110.
8. Добрышин М.М. Выбор структуры и механизмов адаптивного управления системы обеспечения информационной безопасности // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 2. – С. 214–222.



# РАЗРАБОТКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

*Катков В.В.*

*Череповецкий Государственный Университет, студент 2 курса магистратуры,  
напр. «Теплоэнергетика и теплотехника», catcov.valera2016@mail.ru*

## **Введение**

В настоящее время на энергетических предприятиях, таких как теплоэлектроцентрали и гидроэлектростанции, искусственный интеллект не используется. Все операции выполняются исключительно квалифицированным персоналом.

За последние годы на всех электростанциях нашей страны возникла проблема дефицита квалифицированных специалистов для обслуживания и обеспечения эффективного функционирования станций. Это связано с демографическим спадом.

Цель данной работы – внедрение системы управления газовыми и паровыми турбинами, а также вспомогательным оборудованием на основе искусственного интеллекта. Это позволит значительно повысить производительность энергетических предприятий.

В качестве примера реализации системы можно рассмотреть блочную систему, состоящую из котла утилизатора К-30-1,5-165 и турбины марки Siemens S600. Система будет оснащена датчиками давления, температуры, скорости вращения и другими измерительными устройствами. Алгоритмы искусственного интеллекта будут анализировать данные с датчиков и принимать решения о необходимых технологических операциях. Система управления будет выполнять решения, такие как регулирование подачи топлива, изменение нагрузки и т. д.

## **Описание системы**

Система управления газовыми и паровыми турбинами на ТЭЦ будет состоять из следующих компонентов:

1. Датчики и измерительные устройства: Система будет оснащена датчиками и измерительными устройствами, которые будут собирать данные о параметрах турбоагрегата, таких как температура, давление, скорость вращения и т.д.

2. Алгоритмы искусственного интеллекта: На основе собранных данных алгоритмы искусственного интеллекта будут анализировать состояние турбоагрегата и принимать решения о необходимых технологических операциях.

3. Система управления: Система управления будет выполнять технологические операции, такие как изменение нагрузки, регулирование подачи топлива и т.д., на основе решений, принятых алгоритмами искусственного интеллекта.

## **Алгоритм работы системы**

Алгоритм работы системы будет состоять из следующих этапов:

1. Сбор данных: Система будет собирать данные о параметрах турбоагрегата с помощью датчиков и измерительных устройств.

2. Анализ данных: Алгоритмы искусственного интеллекта будут анализировать собранные данные и определять текущее состояние турбоагрегата.

3. Принятие решений: На основе анализа данных алгоритмы искусственного интеллекта примут решения о необходимых технологических операциях.

4. Выполнение операций: Система управления будет выполнять принятые решения, такие как изменение нагрузки, регулирование подачи топлива и т.д.

Преимущества внедрения системы:

1. Повышение производительности: Система позволит повысить производительность турбоагрегата за счет более эффективного управления технологическими процессами.

2. Снижение затрат: Система позволит снизить затраты на обслуживание и ремонт турбоагрегата за счет автоматизации технологических процессов.

3. Безопасность: Система обеспечит безопасность работы турбоагрегата за счет предотвращения аварийных ситуаций.

## **Раскрытие алгоритма**

Рассмотрим, как возможно интегрировать искусственный интеллект в теплоэлектроцентраль, где функционируют паровые турбины и котлы-утилизаторы. В качестве примера возьмём блочную систему, включающую в себя котёл-утилизатор К-30-1,5-165 и турбину марки Siemens S600. Для обеспечения эффективной работы данной системы необходимо подавать пар с параметрами, соответствующими давлению в 165 бар и температуре 565 градусов Цельсия.

В процессе работы алгоритм будет осуществлять мониторинг всех параметров турбоагрегата. Параметры будут разделены на две категории: основные и второстепенные. Основываясь на анализе основных параметров, искусственный интеллект будет принимать решения о снижении или повышении электрической нагрузки.

Искусственный интеллект будет отвечать за выполнение ряда задач, связанных с регулированием электрической нагрузки. В его обязанности будет входить повышение и снижение электрической нагрузки, а также активация второстепенного оборудования при необходимости и настройка режима работы.

Алгоритм будет отслеживать параметры, такие как давление пара перед турбиной, в отборах турбины и регулирующей ступени, а также вакуум в конденсаторе и температуру выхлопной части. Если все эти параметры позволяют увеличить нагрузку, то следует дать команду на активацию сервомоторов регулирующих клапанов для увеличения активной нагрузки.

Кроме того, несмотря на стабильную работу котла утилизатора, алгоритм должен постоянно проверять давление топлива, поступающего на котел. Если оно начинает падать, то необходимо снизить электрическую нагрузку. В следующей части алгоритма необходимо отслеживать второстепенные параметры турбины, такие как:

### **Уровень в конденсаторе**

Здесь алгоритм проверяет значение уровня, расход основного конденсата, напряжение на конденсатных насосах и положение регулятора уровня. В существующих системах управления турбинами уже установлен алгоритм управления регулятором уровня (РУ). Наша задача – заменить операции персонала, поскольку искусственный интеллект будет проверять различные ситуации, которые анализирует машинист паровых турбин.

Ситуация первая – повышение уровня в конденсаторе. Алгоритм проверяет степень открытия РУ. После чего, если уровень повышается, то даёт импульс на открытие ручной рециркуляции. Если ручная рециркуляция полностью открыта, то даёт импульс на открытие помимо РУ.

Ситуация вторая – снижение уровня. В данном случае выполняется обратный алгоритм ситуации первой.

### **Температура пара**

Если происходит повышение/понижение температуры пара, то ИИ даёт команду на котёл-утилизатор, снизить/повысить подачу топлива для уменьшения/повышения температуры. Если котёл утилизатор не может повысить температуру, то следует давать команду на сервомоторы турбины для понижения активной нагрузки.

В процессе работы станции требуется осуществлять переходы с основного оборудования на резервное для его технического обслуживания. Машинист-обходчик подготавливает насос к работе и даёт команду ИИ ввести его в работу. ИИ запускает алгоритм проверки готовности насоса к пуску, после включает электродвигатель. Машинист-обходчик осматривает насос и даёт сигнал исправен. ИИ открывает арматуру напор резервного насоса, закрывает арматуру напор основного насоса и отключает его электродвигатель.

В случаях, когда на станции всё оборудование аналоговое и внедрить ИИ с полным её функционалом невозможно, то можно его ввести в рамках помощника, который будет подсказывать, какие действия лучше совершить оператору.

### **Заключение**

Алгоритм системы управления турбоагрегатом, разработанный на основе искусственного интеллекта, был признан высокоэффективным и перспективным. Этот алгоритм может быть применён на всех типах электростанций, что позволит повысить эффективность и надёжность энергетических объектов.

### **Список использованных источников**

1. Иванов И.И., Петров П.П. Искусственный интеллект в теплоэнергетике. – Издательство «Энергия», 2020. – 102 с.
2. Смирнов А.А. Интеллектуальные системы управления тепловыми электростанциями. – Издательство «Наука», 2019. – С. 23–45.
3. Сидорова С.С. Применение машинного обучения в теплоэнергетике / сборник статей под редакцией издательства «Техносфера», 2018. – 78 с.
4. Кузнецова О.О. ИИ и управление тепловыми процессами. – Издательство «Политехника», 2017. – С. 46–66.
5. Николаева Н.Н. Энергоэффективные технологии с использованием ИИ / сборник статей под редакцией издательства «Инфра-Инженерия», 2016. – 59 с.

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭКСТРАКЦИОННЫМ БЛОКОМ НА БАЗЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО РЕГУЛЯТОРА

Козлова Ю.М.<sup>1</sup>, Емельянов А.М.<sup>2</sup>, Надеждин И.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ТПУ, группа 0702, e-mail: ymk5@tpu.ru

<sup>2</sup> ТПУ, ассистент ОЯТЦ ИЯТШ, e-mail: ame8@tpu.ru

<sup>3</sup> ТПУ, доцент ОЯТЦ ИЯТШ, e-mail: kun9@tpu.ru

## Введение

Автоматизированные системы управления (САУ) стали неотъемлемой частью современных технологических процессов, поскольку их разработка и внедрение направлены на повышение эффективности, безопасности и надежности. Это особенно важно в таких отраслях, как химическая, атомная, нефтегазовая промышленность, где критичное значение имеет безопасность из-за высоких рисков взрывов, пожаров и негативного воздействия на здоровье человека. Одним из ключевых направлений в оптимизации и управлении технологическими процессами является применение методов искусственного интеллекта. С развитием микрокомпьютерных технологий все большую популярность приобретают алгоритмы управления на основе искусственных нейронных сетей (ИНС), которые позволяют значительно улучшить работу САУ и адаптироваться к изменяющимся условиям и возмущениям.

Целью данной работы является разработка автоматизированной системы управления экстракционным блоком на базе нейросетевого регулятора для повышения качества стабилизации концентрации урана в экстракте.

Для упрощения интеграции разработанного нейрорегулятора в САУ действующего радиохимического производства в данной работе предлагается метод дублирующей работы регуляторов.

## Синтез нейросетевого регулятора

Жидкостная экстракция представляет собой значимый технологический процесс (ТП) при переработке отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Данный процесс обеспечивает извлечение ценных компонентов топлива, таких как уран и плутоний, а также их эффективную очистку от примесей. Эффективность экстракции определяется составом ОЯТ, степенью его выгорания, параметрами экстракционной системы и качеством управления технологическим процессом с использованием АСУ.

В работе [1] была предложена комбинированная модель процесса экстракции целевых компонентов с применением нейросетевых технологий. Математическая модель, представленная в работе [2], была проверена на адекватность с использованием экспериментальных данных.

Для синтеза автоматизированной системы управления была проведена идентификация объекта управления. Для этого на ранее разработанной и верифицированной комбинированной математической модели процесса экстракции [1, 2] был проведен вычислительный эксперимент, заключающийся в ступенчатом изменении управляющего воздействия (расход водной фазы). В результате вычислительного эксперимента была получена кривая разгона, по которой была определена передаточная функция объекта управления:

$$W_{ог}(s) = \frac{0,2958}{1077,0968s + 1}.$$

Приведенное среднеквадратическое отклонение идентификации составляет 1,63 %.

В данной работе был разработан нейросетевой регулятор по методу обратного распространения ошибки через прямой нейроэмулятор с эталонной моделью [3, 4]. Нейроэмулятором является нейросеть, полностью повторяющая поведение обобщенного объекта управления. Структура разработанного нейрорегулятора представляет собой ИНС, состоящую из двух слоев с 60 и 40 нейронами, соответственно, она представлена на рис. 1.

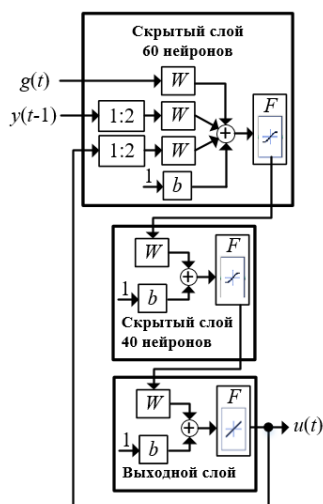


Рис. 1. Структурная схема нейрорегулятора

В рамках исследования разработанной САУ с помощью компьютерного моделирования был проведен вычислительный эксперимент, в рамках которого задающее устройство вырабатывало единичный ступенчатый сигнал уставки. Вычислительный эксперимент проводился для конфигурации САУ с нейрорегулятором и с ПИД-регулятором, параметры которого рассчитаны с помощью метода оптимального модуля (МОМ).

Изменение концентрации урана в экстракте при единичном ступенчатом управляющем сигнале для САУ со всеми разработанными регуляторами представлены в относительных единицах на рис. 2.

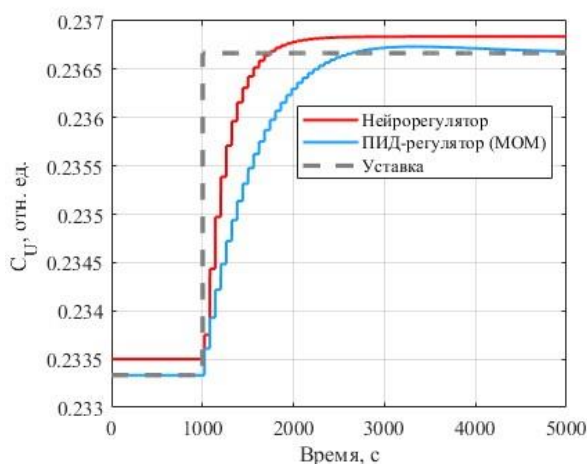


Рис. 2. Реакция САУ с разными регуляторами на ступенчатое управляющее воздействие

Для переходных процессов, представленных на рис. 1, были рассчитаны показатели качества, а именно время регулирования, перерегулирование и интегральный квадратичный критерий, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели качества рассмотренных САУ по управляющему воздействию

Регулятор	$QIC$	$t_{\text{рег. упр.}}, \text{с}$	$\sigma, \%$
Нейрорегулятор	0,2092	740	0
ПИД-регулятор (МОМ)	0,2944	1220	0,52

Далее был проведен вычислительный эксперимент, в рамках которого на объект управления подавалось единичное ступенчатое возмущающее воздействие. Изменение концентрации урана в

экстракте при единичном ступенчатом возмущающим воздействием для САУ со всеми разработанными регуляторами представлены в относительных единицах на рис. 3.

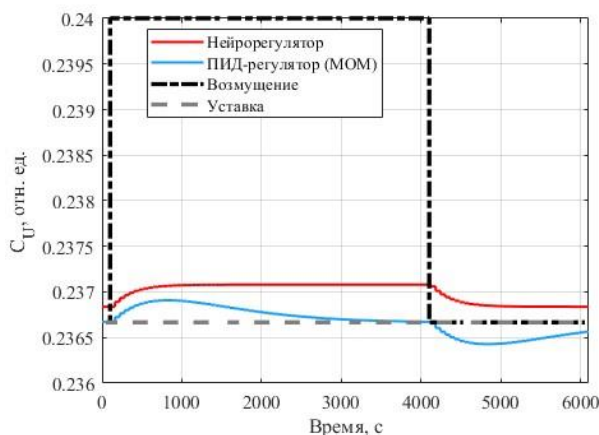


Рис. 3. Реакция САУ с разными регуляторами на ступенчатое возмущающее воздействие

Для переходных процессов, представленных на рис. 3, были рассчитаны показатели качества, а именно время регулирования, динамический коэффициент регулирования ( $R_d$ ) и интегральный квадратичный критерий, которые представлены в таблица 2.

Таблица 2

Показатели качества рассмотренных САУ по возмущающему воздействию

Регулятор	$QIC$	$t_{\text{рег. возм.}}, \text{с}$	$R_d$
Нейрорегулятор	0,1185	420	0,3455
ПИД-регулятор (МОМ)	0,0465	2520	0,3456

Как видно из графиков переходных процессов (рис. 2) и рассчитанных показателей качества (таблица 1), разработанный нейрорегулятор имеет лучшие показатели качества по управляемому воздействию, чем ПИД-регулятор (МОМ). Важным недостатком нейрорегулятора является наличие статической ошибки. Относительная статическая ошибка не превышает 5 %.

Как видно из графиков переходных процессов (рис. 8) и рассчитанных показателей качества (таблица 2), разработанный нейрорегулятор имеет лучшее время регулирования, чем ПИД-регулятор (МОМ).

### Реализация нейросетевого регулятора

Для аппаратной реализации разработанного нейрорегулятора был выбран отечественный микрокомпьютер МВ77.07, произведённый АО НТЦ «Модуль». Одним из ключевых преимуществ данного устройства является наличие двух вычислительных ядер: одно основано на архитектуре ARM, а второе — на архитектуре NMC 3. Специализированное ядро NMC 3, оптимизированное для нейровычислений, позволяет значительно повысить быстродействие разработанного нейрорегулятора.

Главным недостатком МВ77.07 является отсутствие поддержки вычислений чисел с плавающей точкой на ядре NMC. Для выполнения вычислений на этом ядре был разработан алгоритм квантизации и деквантизации данных до 16-битного формата, который исполняется на ядре ARM. Максимальная относительная ошибка, вызванная квантизацией при реализации ИНС, не превышает 0,5 %.

Для упрощения интеграции разработанного нейрорегулятора в САУ действующего радиохимического производства в данной работе предлагается метод дублирующей работы регуляторов. Данный метод позволит обеспечить работу нейрорегулятора без необходимости долгой остановки производства и демонтажа существующей САУ. Также это упростит настройку и корректировку параметров САУ под нейрорегулятор.

Суть метода заключается в том, что с классического ПИД-регулятора, реализованного, например, на ПЛК «Овен», на нейрорегулятор поступают значения уставки и измеренной величины. Нейрорегулятор определяет необходимое управляющее воздействие, которое поступает на ПЛК и далее, без

изменений, на перистальтический насос. Структура разработанного программного обеспечения нейросетевого регулятора на модуле МВ 77.07 представлена на рис. 4.

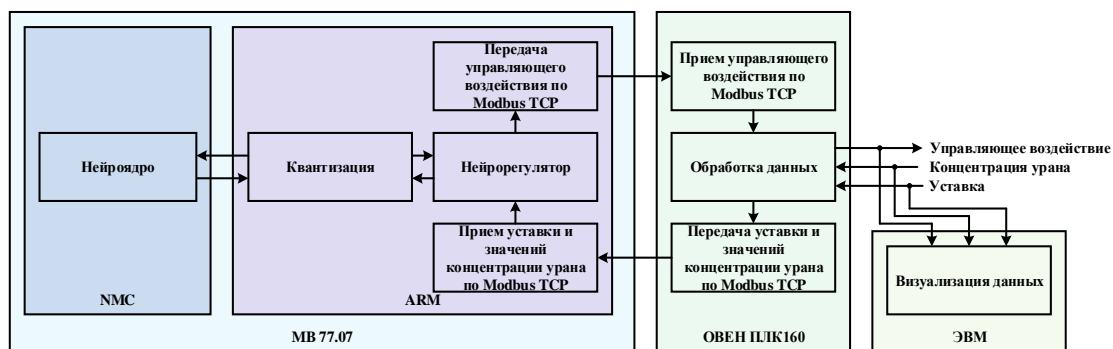


Рис. 4. Структура разработанного программного обеспечения нейросетевого регулятора на модуле МВ 77.07

### Заключение

В данной работе была разработана автоматизированная система управления экстракционным блоком с использованием нейросетевого регулятора, основанного на методе обратного распространения ошибки через прямой нейроэмулятор с эталонной моделью. Проведённое исследование продемонстрировало возможность применения искусственных нейронных сетей для автоматизации технологических процессов ядерно-топливного цикла. Система управления экстракционным блоком, состоящим из центробежных экстракторов, и оснащённая нейрорегулятором, была сравнена с системой, основанной на ПИД-регуляторе, обученном по методу оптимального модуля. Разработанный нейрорегулятор продемонстрировал лучшие результаты по управляющему воздействию по всем показателям качества (таблица 1), а также по времени регулирования в ответ на возмущающее воздействие (таблица 2).

Нейрорегулятор был реализован на отечественном микрокомпьютере МВ 77.07, особенностью которого является наличие специализированного ядра для нейровычислений. Время, требуемое для формирования управляющего воздействия, составляет 100 мс, что значительно меньше времени дискретизации автоматизированной системы управления. В будущем планируется реализация разработанной системы управления на лабораторном стенде, имитирующем экстракционный блок.

### Список использованных источников

1. Емельянов А.М., Надеждин И.С., Ливенцов С.Н. Разработка искусственной нейронной сети для комбинированной модели процесса экстракции урана // Атомная энергия. – 2023. – Т. 135. – № 1. – С. 183–187.
2. Козлова Ю.М., Емельянов А.М., Надеждин И.С. Комбинированная модель процесса экстракционного аффинажа с применением нейросетевых технологий // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2024. – Ч. 2 – С. 119–122.
3. Савицкий А.В., Павловский В.Е. Модель квадрокоптера и нейросетевой алгоритм управления // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. – 2017. – № 77. – 20 с.
4. Long H.D., Dudarenko N. Synchronization of two-rotor vibration units using neural network-based PID controller // Cybernetics and Physics. – 2022. – Vol. 11. – No. 3. – P. 136–144.

# ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА РЕГИСТРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ ТИПИЧНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗГОРАНИЯХ В ПОМЕЩЕНИЯХ

Красников А.М.<sup>1</sup>, Егоров Р.И.<sup>2</sup>, Жданова А.О.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Томский политехнический университет, ИШЭ, группа 5Б13, e-mail: amk49@tpu.ru

<sup>2</sup> Томский политехнический университет, ИШФВП, профессор, e-mail: rommel@tpu.ru

<sup>3</sup> Томский политехнический университет, ИШФВП, доцент, e-mail: zhdanovaa@tpu.ru

## Введение

Самым популярным способом тушения возгораний в помещениях с большим количеством людей, в данный момент, является использование систем водяного пожаротушения. В большинстве промышленных решений расход воды устанавливается максимально избыточным, чтобы обеспечить гарантированное тушение пожара. Для минимизации последствий заливания помещений тушащим агентом целесообразно использовать пенообразующие добавки в воду [1] которые позволяют повысить эффективность тушения и, таким образом, сократить общий расход воды при сохранении общей эффективности тушения. Проблема мониторинга процессов горения в ходе тушения пожара (в реальном масштабе времени) является на сегодняшний день очень актуальной и слабо проработанной [2]. Целью данной работы является определение эффективных путей применения акустических датчиков для текущего контроля тушения модельного очага, а также анализ ограничений акустического подхода в применении к мониторингу процесса горения очага в условиях его тушения водой.

## Описание алгоритма

В ходе работы были проведены экспериментальные исследования по ликвидации горения модельных очагов, состоящих из древесины, картона и ПВХ-материалов. Подавление горения реализовано при помощи форсуночного устройства ФМТ-100.

Экспериментальный комплекс состоит из огнеупорного стенда, щита автоматики, регистрирующих устройств, двух видеокамер, ПК для сбора и записи информации, а также компрессора системы пожаротушения. На рис. 1, а представлен внешний вид основных элементов экспериментального стенда.

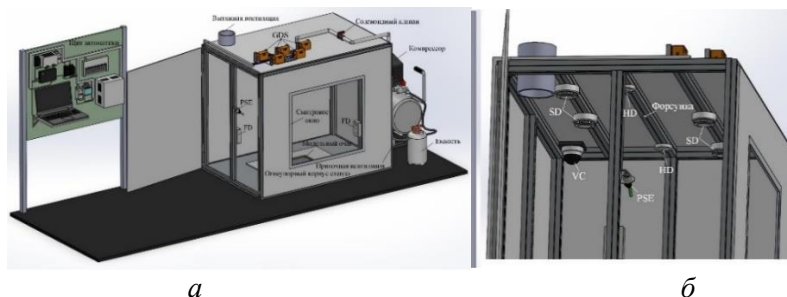


Рис. 1. Экспериментальный комплекс:

а – внешний вид основных элементов экспериментального стенда, б – расположение датчиков внутри полости стенда

Огнеупорный бокс стенда представляет собой полый параллелепипед размерами 1×1,25×1,5 м, грани которого выполнены из стекломгнезитового негорючего листа, прикрепленного к каркасу из алюминиевых балок. В боковой грани имеется окно с огнеупорным стеклом толщиной 4 мм размерами 0,7×0,5 м. Внутри бокса размещены модельный очаг пожара, дымовые извещатели и термпары, датчики пламени, тепловые датчики для идентификации характеристик очага возгорания и момента начала возгорания, система газоанализа.

Эксперименты проводились следующим образом: заготавливался материал для модельного очага, т. е. нарезались фрагментами (3×10 см) картон и линолеум, кололась на крупную щепу древесина. После этого создавался модельный очаг, который помещался в стенд и поджигался. Спустя какое-то время после возгорания, система реагировала на горение звуковой и световой индикацией, критерием для включения тушения было срабатывание двух датчиков. Вся последовательность срабатывания и протоколы показаний датчиков записывались с помощью программного обеспечения. После



окончания тушения установка проветривалась от газов, которые выделились при горении материалов.

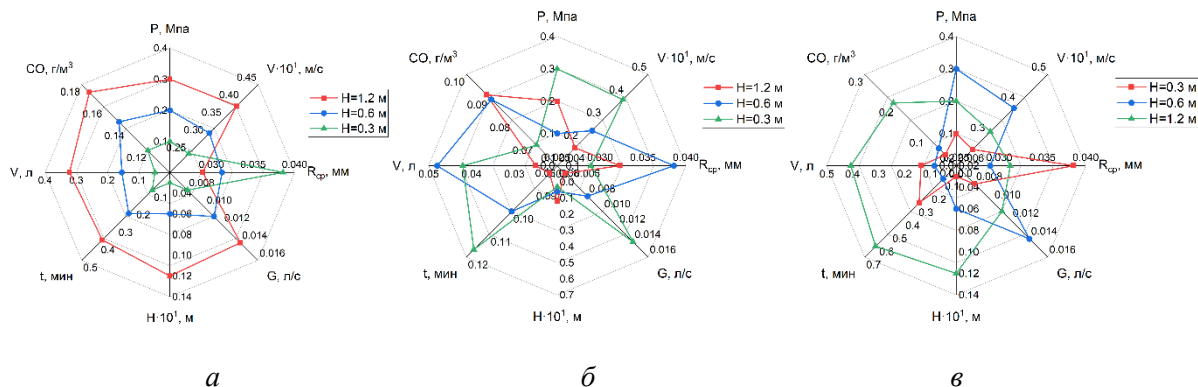


Рис. 2. Результаты многофакторной оценки параметров распылительной системы в условиях ликвидации возгорания модельных очагов

( $P$  – давление в системе распыления, Мпа,  $V$  – скорость движения капель в потоке распыленной жидкости, м/с,  $R_{cp}$  – средний размер капель в потоке, мм,  $G$  – объемный расход тушащей жидкости, л/с,  $H$  – высота расположения форсунки над очагом, м,  $t$  – суммарное время тушения, с,  $V$  – объем затраченной тушащей жидкости, л,  $CO$  – максимальная концентрация угарного газа, г/м<sup>3</sup>): а – древесина; б – линолеум; в – картон

На рис. 2 представлены результаты многофакторной оценки параметров системы пожаротушения, основанной на использовании распылительных устройств. В частности, проведены эксперименты с различными материалами, включая древесину, картон и линолеум. Основное внимание уделено оценке времени тушения ( $t$ ) и объема использованной жидкости ( $V$ ) при различных высотах установки форсунок ( $H$ ). Для каждого материала были определены наилучшие параметры высоты и избыточного давления в системе распыления ( $P$ ), что позволило значительно сократить время тушения и снизить расход воды.

В современных системах пожаротушения применяются различные технологии, включая традиционные водяные системы с использованием форсунок и системы, основанные на инновационных решениях, таких как нейросети и компьютерное зрение для раннего распознавания возгораний. Системы пожарной сигнализации и автоматического тушения оснащены такими датчиками, как дымовые (SD) и тепловые (HD), которые реагируют на первые признаки возгорания и активируют процесс тушения. Эти системы уже доказали свою эффективность на практике. Кроме того, новые системы позволяют минимизировать количество используемой жидкости за счет точной настройки параметров форсунок и давления.

В ходе лабораторных исследований было изучено тушение различных категорий материалов, включая древесину, картон, текстиль и легковоспламеняющиеся жидкости. Эти материалы подвергались воздействию огня, и результаты их поведения при горении были зафиксированы и проанализированы. Особое внимание было уделено выделению угарного газа и оценке эффектов, возникающих при контакте материалов с водой в процессе тушения. Например, картон показал существенный рост выделения угарного газа, что требует специальных мер при его тушении.

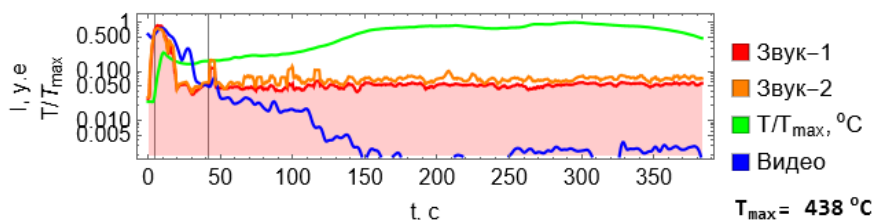


Рис. 3. Критерии интенсивности горения модельного очага (картон), полученные из данных акустического мониторинга (Звук-1 и Звук-2), а также тренды яркости горения очага (Видео) и температуры его внутренней части ( $T/T_{max}$ ). Начало поджига и тушения показаны вертикальными черными линиями. По оси ОУ использована логарифмическая шкала

Рис. 3 иллюстрирует корреляцию между яркостью модельного очага и температурой внутри него, а также с интенсивностью шума, производимого очагом горения в ряде узких полос акустического спектра, однозначно связанных с процессами горения. В частности, исследование древесины показало, что можно с высокой точностью оценивать процессы горения в целом на основе внешних показателей, таких как видимая яркость пламени. Следует отметить, что такой подход работает куда менее эффективно для пористых материалов, вроде гофрокартона. Это позволяет использовать видеонаблюдение в системах пожаротушения для точного определения момента, когда пламя полностью погашено, и оценивать эффективность тушения на разных этапах. В случае сильного задымления или скрытого горения, показания акустических датчиков позволяют отметить изменение его интенсивности.

### **Заключение**

Предложенный алгоритм обработки звуковых данных, полученных при акустическом мониторинге процессов горения позволяет сформулировать числовые критерии интенсивности процессов термического разложения горючих материалов путем анализа спектральной плотности мощности, измеряемой в сигнатурных полосах звукового спектра. Изменение со временем плотности энергии звуковых колебаний, приходящейся на контрольную спектральную полосу-сигнатуру, позволит сделать заключение об интенсивности протекания открытого или скрытого процесса горения.

Применение интегральных уровней шума в границах сигнатурных полос шума горения различных материалов позволяет контролировать процесс их тушения с применением микроконтроллеров для обработки звукового потока прямо на месте. Таким образом, система акустического мониторинга не записывает, не хранит и не передает никуда, собственно, звукового потока, который может быть использован для прослушки помещения злоумышленниками.

Использование акустического канала вместе с общепринятым набором пожарных сенсоров позволяет расширить возможности пожарной системы в плане оперативного мониторинга эффективности процесса тушения. Это, в свою очередь, позволяет интеллектуальной системе мониторинга своевременно принять решение о достаточности времени тушения и предотвратить избыточный залив зоны возгорания тушащим агентом.

Исследование выполнено при поддержке проекта ПИШ-НИР-2024-008.

### **Список использованных источников**

1. Stepanov A.I., Doil’Nitsyn V.A. Foam- and film-forming compositions and technical means for accident-remediation and disassembly work on nuclear power facilities // *At. Energy.* – 2008. – Vol. 105. – P. 75–77.
2. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году», МЧС России, Москва, 2021.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ДВИЖЕНИЯ ГРУППЫ РОБОТОВ СТРОЕМ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ

Лазарев В.С.<sup>1</sup>, Мальцев В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Южный Федеральный Университет, Институт радиотехнических систем и управления, ассистент, vlazarev@sfnedu.ru

<sup>2</sup> Южный Федеральный Университет, группа РТмо2-52, e-mail: vmalcev@sfnedu.ru

## Введение

В настоящее время важной задачей в робототехнике остается разработка эффективных распределенных систем управления роботами. Преимущество подобных систем по сравнению с централизованными заключается в том, что они надежнее, данные системы отказоустойчивы и масштабируемы.

Целью данной работы был анализ двух способов движения роботов строем по заданной траектории: колонной и шеренгой.

## Основная часть

Современную сферу робототехники можно характеризовать как обширную область применения роботов в различных сферах жизнедеятельности человека. Этот процесс связан не только с повышением количества роботов в бытовой сфере жизни, но и с быстрым ростом мобильных роботов. В два раза возросло количество продаж роботизированной техники за последние 4 года. При этом почти в 3 раза возросло количество мобильных роботов.

Конечно, роботами необходимо эффективно управлять. Преимущество децентрализованных систем управления перед централизованными системами в том, что они надежнее, они более отказоустойчивы и масштабируемы [1]. Однако централизованные не теряют своей актуальности в задачах, не требующих повышенной безопасности движения роботов в среде [2]. В работе [3] предлагается подход, где лидеру необходимо знать только информацию о взаимном расположении робота-лидера или ведущего относительно ведомого.

Была создана система управления движением группы роботов по заданной траектории. В данной главе представлен анализ двух алгоритмов, моделирующих процесс формирования строя роботов: «колонна.ру» (для колонны) и «шеренга.ру» (для шеренги). Оба алгоритма используют библиотеку Pygame для визуализации процесса. Основная цель алгоритмов заключается в создании начальной конфигурации роботов и препятствий, вычислении целевых координат для формирования строя в начальной и конечной областях, обеспечении движения роботов к целевым координатам с учетом обхода препятствий и предотвращения пересечений, а также корректировке целей и скорости роботов для поддержания строя.

На рис. 1 и рис. 2 приведены скриншоты работы алгоритмов, реализованных на языке Python 3.8 в среде Spyder. На рис. 1 приведено движение шеренгой в эксперименте (группа роботов (изображены красными фигурами), обходя препятствия (изображены черными фигурами) двигается заданным строем (шеренгой), не нарушая свое исходное место).

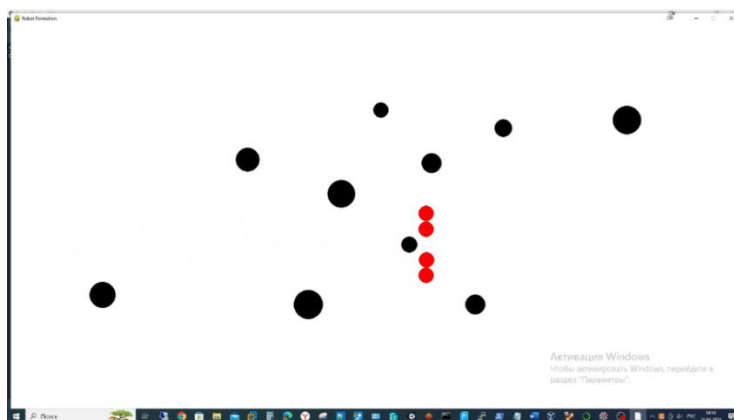
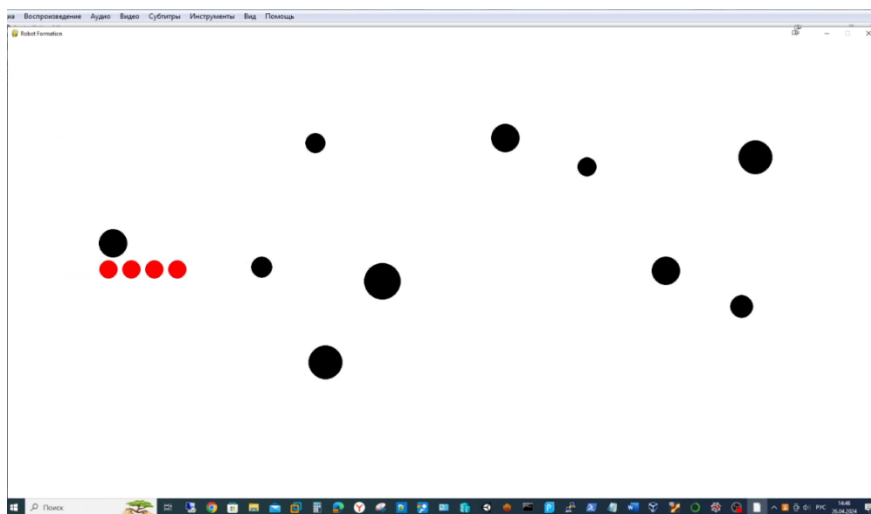


Рис. 1. Построение роботов шеренгой

На рис. 2. приведено движение колонной в эксперименте № 1 (группа роботов (изображены красными фигурами), обходя препятствия (изображены черными фигурами) двигается заданным строем (колонной), не нарушая порядок).



*Рис. 2. Построение роботов колонной*

Было проведено 25 экспериментов для сравнения результатов движения по траектории колонной и шеренгой. Среднее время движения колонной составило 44,89 с, движения шеренгой на 50,33. Разница составляет 5,44 или 12 %. Причиной тому, что среднее время движения шеренгой больше является необходимость совершения дополнительных манёвров роботам группы для прохождения препятствий.

### **Заключение**

В настоящее время важной задачей в робототехнике остается разработка эффективных распределенных систем управления роботами. В частности управления группой роботов, которые осуществляют движение строем по заданной траектории. По результатам исследования двух способов движения по траектории установлено, что построение роботов колонной позволит на 12% сократить время движения группы.

### **Список использованных источников**

1. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – Москва : Физматлит, 2009. – 278 с.
2. Белоконь С.А., Золотухин Ю.Н., Мальцев А.С. Управление параметрами полёта квадрокоптера при движении по заданной траектории // Автометрия. – 2012. – Т. 48, № 5. – С. 32–41.
3. Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Нестеров А.А. Децентрализованное управление подвижными объектами в составе маневрирующей группы // Автометрия. – 2007. – Т. 43, № 3. – С. 31–39.

## АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГЕОДЕЗИИ

*Мальцев И.В.<sup>1</sup>, Насибуллин Д.Р.<sup>2</sup>, Хафизова А.Ф.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> ГБПОУ «Челябинский государственный колледж «Рост», преподаватель, *ilyamaltsev.98@list.ru*

<sup>2</sup> ГБПОУ «Челябинский государственный колледж «Рост», преподаватель, *dr.174@yandex.ru*

<sup>3</sup> ГБПОУ «Южно-Уральский многопрофильный колледж», преподаватель, *ally1989@mail.ru*

### Введение

Искусственный интеллект представляет собой мощный инструмент, который стремительно проникает в различные научные и технические области, в том числе в геодезию. Эта наука, занимающаяся определением размеров и формы Земли, а также точным установлением координат на её поверхности, требует высокой точности и эффективности. Внедрение искусственного интеллекта в геодезию открывает новые горизонты для повышения точности измерений, ускорения обработки данных и оптимизации рабочих процессов. В данной статье будет рассмотрено, как искусственный интеллект меняет подходы к геодезическим задачам, приведены конкретные примеры его использования и проанализированы результаты внедрения этих технологий.

### Основная часть

Искусственный интеллект представляет собой набор программ, способных воспроизводить человеческие умения, такие как планирование, решение конкретных задач, обучение и совершенствование своей работы по мере накопления опыта.

В последние годы искусственный интеллект стал незаменимым инструментом в различных научных и технических областях, и геодезия не является исключением. Геодезия, занимающаяся определением размеров и формы Земли, а также точным установлением координат точек на её поверхности, требует высокой точности и эффективности. Использование искусственного интеллекта в геодезии открывает новые горизонты для повышения точности измерений, ускорения обработки данных и оптимизации процессов. В данной статье рассматривается значимость применения искусственного интеллекта в геодезии, приводятся примеры его использования и анализируются результаты внедрения этих технологий.

Для начала давайте рассмотрим основные направления применения искусственного интеллекта в геодезии.

Первое направление – это обработка больших данных. Современные геодезические измерения генерируют огромные объемы данных, требующие обработки и анализа. Традиционные методы часто занимают много времени и ресурсов. Применение искусственного интеллекта, особенно методов машинного обучения, позволяет автоматизировать этот процесс, уменьшая трудозатраты и повышая точность.

Примером может служить использование нейронных сетей для анализа данных лазерного сканирования местности. Лазерное сканирование создает большие облака точек, которые необходимо классифицировать и обрабатывать. С помощью искусственного интеллекта можно автоматизировать классификацию, выделяя здания, растительность и дороги с высокой точностью.

Второе направление – картографирование и создание 3D моделей. Искусственный интеллект активно применяется для создания цифровых карт и 3D моделей местности. Современные алгоритмы компьютерного зрения позволяют автоматически распознавать и классифицировать объекты на изображениях, полученных с дронов и спутников, что значительно ускоряет процесс создания карт и повышает их точность.

Например, искусственный интеллект может использоваться для автоматического распознавания контуров зданий на спутниковых снимках. Ранее этот процесс требовал ручной работы специалистов, но современные алгоритмы глубокого обучения позволяют выполнять эту задачу автоматически с высокой точностью.

Третье направление – мониторинг изменений и прогнозирование. Один из важных аспектов геодезии – это мониторинг изменений земной поверхности. Искусственный интеллект помогает автоматизировать этот процесс, анализируя данные с различных источников, таких как спутниковые снимки и GPS данные. Это позволяет своевременно выявлять и прогнозировать изменения, например, оползни или подвижки грунта.

Примером может служить использование искусственного интеллекта для анализа данных GPS с целью мониторинга деформаций земной коры в сейсмоактивных регионах. Модели машинного обучения позволяют обнаруживать малейшие изменения в координатах точек и прогнозировать возможные землетрясения.

Это основные направления, где искусственный интеллект активно применяется.

Рассмотрим примеры его использования в геодезии:

Автоматизация классификации облаков точек:

В рамках проекта по созданию цифровой модели города Сан-Франциско была автоматизирована классификация облаков точек, полученных с помощью лазерного сканирования. Для этого использовали нейронную сеть, обученную на большом наборе данных, включающем различные типы объектов (здания, дороги, растительность и т.д.). В результате удалось значительно сократить время обработки данных и повысить точность классификации до 95%. Проект в Сан-Франциско продемонстрировал, что использование искусственного интеллекта для автоматизации классификации облаков точек является эффективным решением в сложных городских условиях. Высокая точность классификации и значительное сокращение времени обработки данных позволяют быстро адаптироваться к изменениям и поддерживать актуальность геодезической информации.

Создание 3D моделей с использованием дронов и искусственного интеллекта:

В проекте «AgriMapping», направленном на картографирование сельскохозяйственных угодий в штате Айова, США, использовали дроны для получения изображений высокого разрешения. Айова была выбрана для этого проекта из-за её значительной доли сельскохозяйственных земель, что создает уникальные возможности для применения передовых технологий в агрономии и землепользовании. Дроны, оснащенные камерами высокого разрешения, регулярно облетали сельскохозяйственные поля, собирая данные о состоянии почвы, растительности и других ключевых параметрах. Полученные изображения обрабатывались с использованием алгоритмов глубокого обучения для автоматического распознавания и классификации объектов, таких как различные виды культур, водоемы и лесопосадки. На основе этих изображений с помощью алгоритмов глубокого обучения были автоматически созданы 3D модели местности. Это позволило не только ускорить процесс создания карт, но и повысить их точность. Точность классификации и распознавания объектов достигла 93%, что существенно превышает возможности традиционных методов картографирования.

Мониторинг деформаций земной коры.

В рамках исследования сейсмоактивных регионов Японии и Калифорнии использовались данные GPS для мониторинга деформаций земной коры. Эти регионы выбраны из-за их высокой сейсмической активности и необходимости постоянного наблюдения для предотвращения катастрофических последствий землетрясений.

Для сбора данных применялись сети высокоточных GPS станций, установленных в ключевых точках по всей Японии и Калифорнии. Полученные данные обрабатывались с использованием алгоритмов машинного обучения, разработанных для выявления малейших изменений в координатах точек, что позволяет обнаруживать деформации земной коры в режиме реального времени.

Алгоритмы машинного обучения позволили с высокой точностью фиксировать даже незначительные изменения в координатах точек. Это обеспечило своевременное обнаружение деформаций земной коры и прогнозирование возможных землетрясений. В результате мониторинг деформаций в Японии и Калифорнии стал более точным и оперативным, что значительно повысило уровень подготовки и реагирования на сейсмическую активность.

Применение искусственного интеллекта в геодезии имеет множество значительных преимуществ. Во-первых, автоматизация обработки данных значительно сокращает время и затраты на выполнение геодезических работ. Во-вторых, использование искусственного интеллекта повышает точность измерений и обработки данных, что особенно важно для задач, требующих высокой точности, таких как мониторинг деформаций земной коры или создание цифровых моделей местности.

Однако, несмотря на все преимущества, применение искусственного интеллекта в геодезии сталкивается с рядом вызовов. Во-первых, для обучения моделей требуется значительный объем данных, что не всегда возможно в условиях ограниченного финансирования и ресурсов. Во-вторых, необходимо учитывать специфику геодезических задач и адаптировать алгоритмы искусственного интеллекта к конкретным условиям и требованиям.

В будущем можно ожидать дальнейшего развития применения искусственного интеллекта в геодезии. С развитием технологий и увеличением объема доступных данных искусственный интеллект

станет еще более мощным инструментом для решения геодезических задач. Возможным направлением развития является интеграция искусственного интеллекта с другими технологиями, такими как интернет вещей (IoT) и блокчейн, что позволит создавать комплексные системы мониторинга и управления земными ресурсами.

### **Заключение**

Применение искусственного интеллекта в геодезии является актуальным и перспективным направлением, позволяющим значительно повысить эффективность и точность выполнения геодезических работ. Примеры использования искусственного интеллекта в обработке данных, создании 3D моделей и мониторинге изменений земной поверхности демонстрируют высокую эффективность этих технологий. Важно продолжать исследования и разработки в этой области, чтобы максимально использовать потенциал искусственного интеллекта для решения геодезических задач.

### **Список использованных источников**

1. Алексеева Н.В. Разработка и применение алгоритмов искусственного интеллекта в геодезических измерениях. Геодезия и Геоинформатика. – 2023. – С. 78–89. – <https://doi.org/10.56465/GG2023.1.8>.
2. Громова О.П. Инновационные технологии в геодезии: от традиционных методов к искусственному интеллекту // Вестник геодезии и картографии. – 2021. – С. 12–19. – <https://doi.org/10.3103/S0190544221050023>.
3. Иванов А.А., Петров Б.И. Применение глубокого обучения для обработки данных геодезической съемки // Научный вестник МГИУ. – 22. – С. 112–119. – <https://www.mgiu.ru/nv>.
4. Ковалев П.Ф., Удалов С.Ю. Применение нейронных сетей для анализа геодезических данных // Научные исследования в геодезии. – 2022. – С. 45–50. – <https://doi.org/10.3889/NG2022.2.2>.
5. Михайлов Д.А., Зарипов И.Е. Машинное обучение в геодезии: перспективы и вызовы // Труды ПГС. – 2018. – С. 26–31. – <https://repository.pgsu.ru/handle/123456789/1501>.
6. Смирнов В.Н. Искусственный интеллект в геодезии: концепции и практические применения // Геодезия и картография. – 2020. – С. 34–45. – <https://doi.org/10.3103/S0016871X2002004X>.
7. Соловьёв К.С. Интеллектуальные технологии в землеустройстве и геодезии // Землеустройство и кадастр. – 2021. – С. 56–70. <https://doi.org/10.29182/ZK2021.4.1>.

# ПОВЫШЕНИЕ ОПЕРАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Подкин К.И.<sup>1</sup>, Назарова Ю.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> РУДН им. Патриса Лумумбы, инженерная академия, аспирант, e-mail: 1142220974@pfur.ru

<sup>2</sup> РУДН им. Патриса Лумумбы, инженерная академия, доцент, e-mail: Nazarova-yua@rudn.ru

## Введение

Интеллектуальные системы управления (далее – ИСУ) энергопотреблением предоставляют энергетическим организациям возможности для оптимизации производственных процессов и повышения операционной эффективности. Внедрение ИСУ дает возможность не только осуществлять непрерывный мониторинг и анализ показателей энергопотребления, но и разрабатывать эффективные стратегии управления энергетическими ресурсами [2]. Одним из ключевых преимуществ интеллектуального управления энергопотреблением является возможность точного контроля и оптимизации таких показателей, как коэффициент мощности и максимальный спрос, что позволяет существенно снизить затраты на электроэнергию. Благодаря использованию алгоритмов искусственного интеллекта, системы способны выявлять отклонения от оптимальных режимов работы оборудования и оперативно сигнализировать о необходимости принятия корректирующих мер. Кроме того, ИСУ энергопотреблением обеспечивают сбор и анализ больших объемов данных, чтобы генерировать детальные отчеты о состоянии энергетической системы организации. Наличие интуитивно понятного интерфейса и возможности использования естественного языка для формулирования запросов значительно упрощает процесс работы с системой и повышает доступность информации для пользователей различного уровня подготовки.

Цель данной работы – рассмотреть возможности повышения операционной эффективности энергетической организации посредством использования ИСУ.

## Основная часть

Важным аспектом применения ИСУ энергопотреблением является возможность перехода от традиционных методов обслуживания оборудования к предиктивному обслуживанию, основанному на анализе данных о его состоянии. Предлагается применить метод математического моделирования Кендалла для оценки эффективности операционной деятельности энергетической компании. Предполагается, что для проведения моделирования необходим предварительный факторный анализ, то есть распределение всех факторов, влияющих на эффективность, на отдельные группы. Все факторы, влияющие на эффективность операционной деятельности энергетической компании, были классифицированы по направлениям, которые указаны в таблице 1.

Таблица 1

*Факторы влияния на эффективность операционной деятельности энергетической компании*

Направление воздействия	Показатель оценки фактора
1. Финансово-налоговый	Рентабельность
	Ликвидность
	Система налоговой нагрузки
2. Правовой	Уровень тенгизации рыночного сегмента
	Сложность бюрократических процедур
3. Ресурсный	Цены на ресурсы производства (в том числе и трудовые)
	Уровень зависимости от поставщиков
4. Транзитный	Экспортно-импортная ситуация в стране
	Наличие квот
5. Информационный	Эффективность коммуникационной политики



Для определения на сколько экспертные оценки являются согласованными, был рассчитан коэффициент конкордации Кендалла (таблица 2), с помощью которого количественно оценили степень совпадения средних значений, полученных от различных экспертов.

Таблица 2

*Матрица рангов факторов влияния на эффективность операционной деятельности энергетической организации*

Факторы	Эксперты					Сумма рангов	D	d <sup>2</sup>
	1	2	3	4	5			
x1	1	2	1	1	1	6	-21,5	462,25
x2	2	3	3	2	2	12	-15,5	240,25
x3	6	5	6	5	6	28	0,5	0,25
x4	4	10	9	8	5	36	8,5	72,25
x5	7	8	7	4	8	34	6,5	42,25
x6	3	1	4	7	4	19	-8,5	72,25
x7	8	4	2	3	3	20	-7,5	56,25
x8	5	6	5	6	7	29	1,5	2,25
x9	10	9	8	10	10	47	19,5	380,25
x10	9	7	10	9	9	44	16,5	272,25
Σ	55	55	55	55	55	275		1600,5

В таблице 2 приведены результаты расчета ключевых показателей D и d<sup>2</sup>. Для проверки правильности построения матрицы было осуществлено контрольное вычисление суммы всех элементов матрицы.

$$\sum_{x_{ij}} = \frac{(1+n) \times n}{2} = \frac{(1+10) \times 10}{2} = 55, \quad (1)$$

где, n – количество факторов.

Полученные результаты анализа позволили установить ранговую значимость каждого из факторов (табл. 3). С целью оценки степени согласия между экспертами был применен непараметрический критерий конкордации Кендалла. Расчет коэффициента конкордации помог определить средний уровень согласованности экспертных оценок [1].

$$w = \frac{12 \times S}{m^2 \times (n^3 - n)} = \frac{12 \times 1600,5}{25 \times (1000 - 10)} = 0,85, \quad (2)$$

где S – сумма квадратичных значений d<sup>2</sup>, n - количество факторов, m - количество экспертов.

Расчет коэффициента конкордации по формуле (2) помог определить средний уровень согласованности экспертных оценок. Полученный коэффициент конкордации Кендалла w = 0,85 подтверждает высокую надежность экспертных оценок.

Таблица 3

*Расположение факторов по значимости*

Фактор	Сумма рангов	
x1	Рентабельность	6
x2	Ликвидность	12
x6	Цены на ресурсы производства (в том числе и трудовые)	19
x7	Уровень зависимости от поставщиков	20
x3	Система налоговой нагрузки	28
x8	Экспортно-импортная ситуация в стране	29
x5	Сложность бюрократических процедур	34
x4	Уровень тенизации рыночного сегмента	36
x10	Эффективность коммуникационной политики	44
x9	Наличие квот	47

Для того, чтобы определить, является ли полученное значение коэффициента конкордации Кендалла случайным или же оно указывает на существование реальной согласованности между экспертами, проведена статистическая проверка с помощью критерия Пирсона.

$$x^2 = \frac{12 \times S}{m \times n(n+1)} = \frac{12 \times 1600,5}{5 \times 10 \times (10+1)} = 19206/550 = 34,92 \quad (3)$$

Значение критерия  $x^2$  показало, что рассчитанное значение статистики 34,92 существенно превышает табличное критическое значение 16,9 (критерия Пирсона, где  $K = n-1 = 10-1 = 9$  и при заданном уровне значимости  $\alpha = 0.04$ ).

Проведение исследования, основанное на методе ранговой корреляции Кендалла, позволяло не только идентифицировать факторы, влияющие на эффективность операционной деятельности энергетической организации, но и установить иерархию их важности.

Таким образом, организация, часто сталкивается со сложными операционными проблемами, к которым относятся:

- Использование возобновляемых источников энергии носит непостоянный характер (например, энергия ветра и солнца не являются постоянными источниками энергии, и поэтому затрудняет прогнозирование поставок и управление ими).

- Интеграция энергосистем, подключение возобновляемых источников энергии к существующей энергосистеме требует тщательной координации и контроля.

- Сбор, анализ и интерпретация огромных объемов данных из различных источников может оказаться сложной задачей.

Максимальная выработка энергии при минимизации затрат и воздействия на окружающую среду является постоянной целью оптимизации.

Решение указанных проблем возможно за счет ИСУ. ИСУ, основанная на искусственном интеллекте (AI) и машинном обучении (ML), может решить проблемы энергетической организации с помощью:

1. Прогнозирование спроса, так как анализируя исторические данные и тенденции в режиме реального времени, система точно прогнозирует спрос на энергию, чтобы организациям соответствующим образом корректировать производство.

2. Система может оптимизировать распределение энергии по различным источникам, обеспечивая стабильную и эффективную работу сети. Возможности прогнозного технического обслуживания помогают выявлять потенциальные отказы оборудования до их возникновения, сокращая время простоя и затраты.

3. Управление данными и визуализация. Централизация данных из различных источников упрощает анализ и принятие решений, а интерактивные панели мониторинга помогают получить четкое представление об эффективности работы.

4. Адаптивное управление автоматически корректирует операции в зависимости от изменяющихся условий, таких как стабильность электросети или доступность возобновляемых источников энергии.

Преимущества ИСУ для энергетической организации указаны в таблице 4.

Таблица 4

*Преимущества интеллектуальной системы управления для энергетической организации*

Преимущества	Примеры использования	Потенциальные вызовы и риски
Повышение эффективности	Оптимизированные операции, снижение потерь энергии, улучшение использования ресурсов	Интеллектуальные сети, виртуальные электростанции, торговля энергией
Экономия средств	Своевременное техническое обслуживание, прогнозирование спроса на энергию, эффективная диспетчеризация	Оптимизация затрат на топливо, снижение затрат на эксплуатацию и ремонт
Повышенная надежность	Более стабильная и эластичная сеть, повышенная устойчивость к сбоям	Улучшение качества электроэнергии, снижение частоты отключений

Повышение устойчивости	Оптимизация производства энергии из возобновляемых источников, сокращение выбросов парниковых газов	Интеграция возобновляемых источников энергии в энергосистему, управление спросом на электроэнергию
Принятие решений на основе данных	Доступ к данным в режиме реального времени, использование аналитических инструментов	Оптимизация производственных процессов, разработка новых бизнес-моделей
Улучшение гибкости	Быстрая адаптация к изменяющимся условиям рынка и технологиям	Участие в новых рынках (например, рынок услуг гибкости), разработка новых продуктов и услуг
Повышение безопасности	Обнаружение и предотвращение кибератак, повышение надежности систем управления	Защита критической инфраструктуры, обеспечение непрерывности работы

ИСУ энергопотреблением, такие как MiDAS, предлагают инновационный подход к оптимизации энергетических процессов организации, существенно повышая их эффективность. Путем непрерывного мониторинга и анализа ключевых энергетических параметров, таких как коэффициент мощности и максимальный спрос, возможно выявлять и устранять энергетические потери, которые приводят к снижению операционных затрат [3]. Кроме того, формирование подробных и легко интерпретируемых отчетов на основе данных, полученных в режиме реального времени, способствует принятию обоснованных решений в области энергоэффективности операционной деятельности энергетической компании. Важным преимуществом интеллектуального управления энергопотреблением является возможность перехода от традиционных методов обслуживания оборудования к предиктивному обслуживанию. Анализ данных, полученных от датчиков и других источников, выявляет ранние признаки неисправностей и прогнозируют потенциальные проблемы, и минимизирует риски возникновения аварийных ситуаций, чтобы планировать техническое обслуживание эффективнее. Внедрение таких систем способствует повышению надежности оборудования и снижению совокупной стоимости энергетической компании.

### Заключение

В заключение отметим, что ИСУ энергопотреблением обеспечивают прозрачность энергетических процессов, которые способствуют принятию обоснованных решений в области энергоэффективности, чтобы отслеживать динамику изменения операционных показателей энергетической организации. Ведь интеллектуальное управление энергопотреблением представляет собой комплексный подход к оптимизации энергетических процессов, и помогают снизить операционные затраты, но и повышают экологическую эффективность энергетической организации. Постоянное развитие технологий искусственного интеллекта и машинного обучения открывает новые возможности для совершенствования существующих систем и создания инновационных решений в области энергоэффективности.

Таким образом, внедрение ИСУ энергопотреблением является эффективным инструментом для повышения энергоэффективности энергетической организации, снижения операционных затрат и оптимизации производственных процессов. Постоянное совершенствование таких систем, основанное на использовании новейших достижений в области искусственного интеллекта и машинного обучения, открывает новые перспективы для развития энергетики и промышленности в целом.

### Список использованных источников

1. Лубенец Ю.В. Модифицированный коэффициент конкордации, учитывающий в большей степени согласованность лучших альтернатив, при наличии связанных рангов // Вести высших учебных заведений Черноморья. – 2023. – № 17 (3). – С 39–46.
2. Fritz M.C., Silva M.E., Touboulis A. Practicing sustainability in operations and supply Chain management // Supply Chain Forum: An International Journal. – 2022. – Vol. 23 (4). – P. 323–328.
3. Wang Y. Intelligent energy management and operation efficiency of electric vehicles based on artificial intelligence algorithms and thermal energy optimization // Thermal Science and Engineering Progress. – 2024. – Vol. 55.

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА ПО НАПРЯЖЕНИЮ И ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

*Рец В.В.<sup>1</sup>, Прохоров А.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ТПУ, ИШЭ, гр. А3-42, e-mail: vlad.rets@mail.ru

<sup>2</sup> ТПУ, ИШЭ, к.т.н., доцент, e-mail: antonprokhorov@tpu.ru

## **Введение**

Переток активной мощности по линиям электропередач и электросетевому оборудованию контролируется в диспетчерских центрах (ДЦ) АО «СО ЕЭС» с целью обеспечения надежности энергосистемы [1]. Максимально допустимый переток (МДП) в контролируемых сечениях (КС) – совокупности линий и электросетевого оборудования – является количественным показателем пропускной способности электрической сети.

Для учета ограничений пропускной способности сети в процедурах планирования и управления электроэнергетическим режимом используется минимальная величина МДП, определенная для наиболее неблагоприятных условий функционирования энергосистемы [2]. Поскольку фактические условия в подавляющем большинстве случаев легче расчетных, такой подход, с одной стороны, гарантирует обеспечение надежности энергосистемы, с другой, приводит к её менее экономичному функционированию вследствие недоиспользования пропускной способности сети.

Повышение пропускной способности достигается использованием цифровых технологий, реализующих автоматическое управление в энергосистеме [3], а также расчет МДП в фактической или наиболее приближенной к ней схемно-режимной ситуации (СРС) [4].

Другим возможным способом повышения пропускной способности является изменение способа управления напряжением и перетоками реактивной мощности. В настоящее время в отечественной практике эксплуатации энергосистем отсутствует технология определения оптимальных управляющих воздействий (УВ) на средства регулирования напряжения (СРН) в энергосистеме. Для оценки УВ требуется циклический оптимизационный расчет УВ в режиме реального времени на основе математической модели энергосистемы, включающей большое число телеизмерений от объектов электроэнергетики. Подобные функциональные возможности реализованы в системах автоматического регулирования напряжения, используемых за рубежом [5], но преследующих иные цели регулирования.

Предлагаемый метод управления напряжением был апробирован на примере Иркутско-Черемховского энергорайона и КС «Братск-Иркутск» [6]. Описанный подход учитывает специфику функционирования Единой энергетической системы России, предусматривает интеграцию с Системой мониторинга запасов устойчивости (СМЗУ) [4] и оперативно-информационным комплексом СК-11 [7] и может быть применен как в технологических процедурах формирования диспетчерского графика (ДГ), так и при управлении режимом. С целью оценки применимости подхода в указанных процессах необходима автоматизация расчета УВ на СРН в соответствии с описанной в [6] оптимизационной моделью.

При этом выходные данные расчетного алгоритма в составе разрабатываемого программного обеспечения (ПО) будут определяться контекстом его использования. При управлении режимом диспетчер ДЦ контролирует напряжение в отдельных узлах энергосистемы, определяющих уровни напряжения в прилегающей сети – контрольных пунктах по напряжению (КП). Результат работы разрабатываемого ПО в таком случае должен содержать информацию о целевых значениях напряжения в КП. Диспетчер сможет ориентироваться на данные значения для корректировки уровня напряжения с целью максимизации пропускной способности сети. В случае с использованием ПО при формировании ДГ, выходными данными станут не значения напряжения в КП, а значение МДП в КС на каждый час суток, для которого осуществляется планирование. Указанные значения МДП в унифицированном формате могут быть использованы и при выборе состава включенного генерирующего оборудования (ВСВГО), и при расчете ДГ.

Между тем, использование разрабатываемого ПО в любом из описанных вариантов предъявляет высокие требования к скорости расчета и получению наиболее оптимальных результатов. В настоящей работе представлены результаты разработки ПО для его применения при управлении режимом.

Именно в процессе управления в реальном времени, являющимся конечным результатом многоэтапного и тщательного планирования режима, возможно наиболее наглядно продемонстрировать эффективность и применимость на практике описанного ПО, а также определить актуальность расширения его функциональных возможностей для применения в технологических процедурах формирования ДГ.

### Алгоритм расчета

Разрабатываемое ПО реализует поиск оптимальных УВ на СРН с целью повышения пропускной способности выбранного КС по следующему алгоритму:

1. Определение узлов, в которых производится контроль напряжения.
2. Определение СРН, наиболее эффективных для регулирования напряжения в узлах из п. 1.
3. Расчет коммутационного состояния и выработки реактивной мощности СРН из п. 2, соответствующие принятой оптимизационной модели.

Ключевым в алгоритме является шаг 3, заключающийся в поиске максимума целевой функции (ЦФ), состоящей из взвешенной суммы следующих критериев:

$$k_u = \frac{\sum_{j=1}^n U_j}{n \cdot U_{\text{наиб. раб.}}} - \text{сумма значений напряжения } U_j \text{ в } n \text{ контролируемых узлах относительно}$$

соответствующего наибольшего рабочего  $U_{\text{наиб. раб.}}$ , о.е.,

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{пер.}}}{\sqrt{P_{\text{пер.}}^2 + Q_{\text{пер.}}^2}} - \text{коэффициент мощности, передаваемой по связи в сечении,}$$

ограничивающей пропускную способность данного сечения по току в ПАР; контролируется в случае, когда МДП определяется величиной АДТН в ПАР,

$$k_e = \sum_{i=1}^m \left| \frac{Q_{\text{рез. } i}}{Q_i - Q_{0i}} \right| - \text{величина, обратная степени использования резерва реактивной мощности } m$$

СРН ( $Q_{\text{рез. } i}$  – резерв реактивной мощности  $i$  СРН,  $Q_i$  – нагрузка  $i$  СРН после оптимизации,  $Q_{0i}$  – нагрузка  $i$  СРН в исходном режиме), о.е.,

$$k_p = \frac{P_{\text{КС}_0}}{P_{\text{КС}}} - \text{величина, обратная значению перетока активной мощности в рассматриваемом КС}$$

после оптимизации  $P_{\text{КС}}$  относительно данного значения в исходном режиме  $P_{\text{КС}_0}$ , о.е.

Такая формулировка оптимизационной задачи предусматривает косвенную оценку повышения пропускной способности сети на основе данных об уровне напряжения в узлах сети. В отличие от прямой оценки на основе значения МДП в КС, такой подход имеет несоизмеримо малое время цикла расчета, что обусловлено спецификой определения МДП [2].

Оценка величины ЦФ и переменных в её составе производится на основе расчета установившегося режима энергосистемы. В современных программных комплексах (ПК), например, в отечественном ПК «RastrWin3» такой расчет реализован методом Ньютона [8].

В связи с отсутствием аналитической функции зависимости указанных параметров от выработки реактивной мощности СРН в качестве метода оптимизации был принят метод дифференциальной эволюции [9], относящийся к классу стохастических алгоритмов численной оптимизации.

### Реализация ПО

Описанные функциональные возможности реализованы в составе настольного приложения, диаграмма компонентов которого представлена на рис. 1.

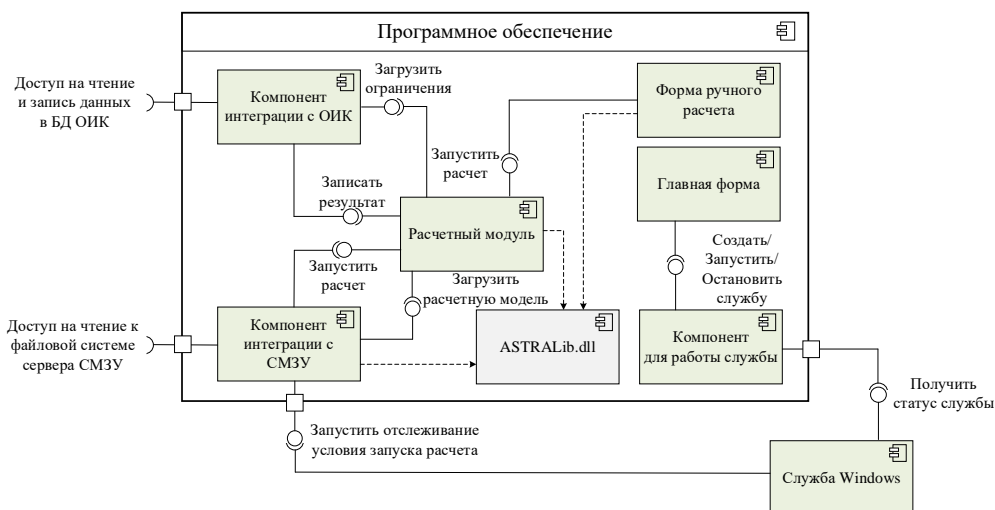


Рис. 1. Диаграмма компонентов ПО

ПО имеет графический интерфейс пользователя, который связан с Расчетным модулем, реализующим методы расчёта из библиотеки «ASTRALib.dll», поставляемой с ПК «RastrWin3». Компоненты интеграции с внешними системами необходимы для получения исходных данных для расчета и записи результата. ПО реализует оптимизационный расчет в двух режимах: по заданию пользователя и в фоновом режиме средствами Службы Windows.

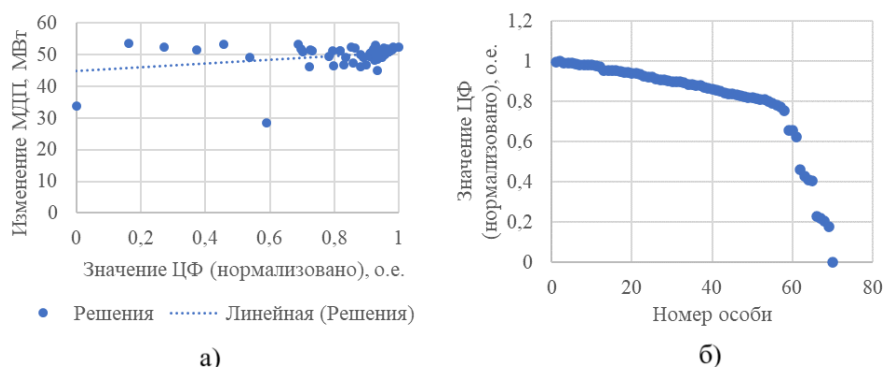
С целью контроля работы приложения и повышения скорости устранения неполадок организовано логирование.

### Тестирование ПО

Тестирование ПО заключалось в оценке корректности взаимодействия с внешними системами для получения исходных данных, скорости расчета и достоверности получаемых результатов. Для этого были использованы ретроспективные данные о работе объединенной энергетической системы (ОЭС) Сибири с наблюдаемой перегрузкой КС «Братск-Иркутск». Расчетная модель ОЭС включает в себя 1938 узлов и 3160 ветвей. Параметры метода оптимизации на данном этапе исследования принимались стандартные рекомендуемые [9]. В дальнейшем с целью повышения сходимости и скорости расчета необходимо совершить подбор указанных параметров. Характеристика используемой вычислительной машины: операционная система Windows 11 x64, процессор с базовой частотой 1,7 ГГц имеет 10 ядер и 12 потоков, оперативная память DDR4 16 Гб.

Область допустимых решений в терминах применяемого метода оптимизации определяется числом генов особи. В рассматриваемой задаче особью является совокупность значений выработки реактивной мощности СРН, а геном – значение выработки отдельной СРН. Таким образом, число генов равно числу СРН, которое в рамках тестирования было определено заранее для ограничения области поиска решений. Оптимизируемыми принимались генераторы Братской ГЭС, Иркутской ТЭЦ-11, Ново-Иркутской ТЭЦ, Усть-Илимской ГЭС, а также синхронные компенсаторы на подстанциях (ПС) 500 кВ Иркутская и Ново-Зиминская. Нагрузка остальных СРН определялась режимом работы внешней сети.

По результатам 100 запусков однотипных расчетов, представленных на рис. 2, а, среднее значение повышения МДП в КС равно 50 МВт, что составляет 50 % величины нерегулярных колебаний в рассматриваемом КС. С учетом повышения пропускной способности КС в среднем на 150 МВт за счет СМЗУ, предлагаемый подход позволит повысить эффективность использования электрической сети с применением цифровых технологий на 33 %. Среднеквадратичное отклонение повышения МДП составило 3,2 МВт, что говорит о высокой сходимости решения. Из рис. 2, б видно, что используемый метод оптимизации производит корректную сортировку получаемых в ходе расчета решений: особи с наибольшим значением ЦФ имеют меньший порядковый номер в популяции. Среднее время расчета с момента получения расчетной модели СМЗУ составило 205,2 секунд со среднеквадратичным отклонением 10,1 секунд.



*Рис. 2. Результаты вычислительных экспериментов:  
а – зависимость изменения МДП от значения ЦФ для 100 запусков однотипных расчетов;  
б – распределение значения ЦФ между особями одной популяции*

Описанные результаты тестирования говорят об удовлетворительной скорости поиска решения и его сходимости для его применения с целью выдачи рекомендаций о регулировании напряжения и реактивной мощности диспетчеру в режиме реального времени.

### **Заключение**

Разработанное ПО позволяет передавать пользователю рекомендации о регулировании напряжения и реактивной мощности для максимизации пропускной способности электрической сети. Результаты компонентного тестирования ПО показали корректность его взаимодействия с СМЗУ и СК-11, удовлетворительные для практического применения скорость расчета и его сходимости. В рамках дальнейших исследований предстоит системное тестирование ПО и расширение его функциональных возможностей для оптимизации режима по напряжению и реактивной мощности в процедурах краткосрочного планирования электроэнергетического режима.

### **Список использованных источников**

1. Требования к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Методические указания по устойчивости энергосистем». Утверждены приказом Минэнерго России от 03.08.2018 №630.
2. Стандарт организации АО «СО ЕЭС» СТО 59012820.27.010.004-2020 «Правила определения максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях, а также допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях при работе в вынужденном режиме». Утвержден приказом АО «СО ЕЭС» от 09.07.2020 №149.
3. Основы противоаварийной автоматики в электроэнергетических системах : учебное пособие / Р.А. Вайнштейн, Е.А. Понамарев, В.А. Наумов, Р.В. Разумов. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Чебоксары : Изд-во РИЦ «СРЗАУ», 2022. – 392 с.
4. Костоглодова С.Л., Лоцман Д.С., Максименко Д.М. и др. Интеграция системы мониторинга запасов устойчивости с технологическими инструментами рынка электроэнергии и мощности // Научно-технический журнал «Известия НТЦ Единой энергетической системы». – 2021. – №. 1 (84). – С. 89–95.
5. Shi B., Wu C., Sun W., и др. A Practical Two-level Automatic Voltage Control System: Design and Field Experience // 2018 Int. Conf. Power Syst. Technol. POWERCON 2018 – Proc. – 2018. – С. 1397–1407.
6. Рец В.В., Прохоров А.В., Останин А.Ю. Разработка метода управления напряжением и реактивной мощностью для максимизации пропускной способности контролируемого сечения по активной мощности // Электроэнергетика глазами молодежи – 2023 : Материалы XIII Международной научно-технической конференции – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2023. – С. 114–117.
7. Пакет SCADA СК-11 // Монитор Электрик [Электронный ресурс]. URL: <https://monitel.ru/applications/scada> (дата обращения: 10.10.2024).
8. Аннотация // RastrWin3 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rastrwin.ru/rastr/anno/index.php> (дата обращения: 10.10.2024).
9. Differential evolution // SciPy documentation [Электронный ресурс]. URL: [https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.optimize.differential\\_evolution.html](https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.optimize.differential_evolution.html) (дата обращения: 10.10.2024).

# ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ХОДЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВКИ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА НЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Суворов Д.В.<sup>1</sup>, Худоногова Л.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Томский политехнический университет, студент гр. 8ТМ32, e-mail: dvs88@tpu.ru

<sup>2</sup> Томский политехнический университет, доцент ОИС ИШИНЭС, e-mail: likhud@tpu.ru

## Введение

Аварийные ситуации на объектах нефтяной промышленности представляют собой серьезную угрозу как для безопасности персонала, так и для окружающей среды. Эффективное управление рисками и предотвращение аварий требуют глубокого анализа причин, способствующих их возникновению. В данной статье рассматривается исследование аварийных ситуаций в процессе эксплуатации установки по перекачке нефтепродуктов на нефтяном месторождении.

Целью данного исследования является не только выявление причин и последствий аварийных ситуаций, но и разработка рекомендаций по улучшению системы безопасности на объектах нефтяной промышленности, что в конечном итоге позволит снизить вероятность возникновения аварий и обеспечить безопасную эксплуатацию оборудования.

## Анализ возможных причин и последствий аварийных ситуаций в процессе перекачки нефтепродуктов

Для формирования рекомендаций по снижению фактора риска при эксплуатации системы перекачки нефтепродуктов был рассмотрен следующий перечень причин, для каждой из которых указана вероятность их возникновения: превышение допустимых нагрузок на оборудование ( $10^{-3}$ ); неверная настройка систем оборудования и регулирования ( $10^{-2}$ ); разгерметизация фланцевого соединения ( $10^{-3}$ ); разгерметизация запорной арматуры ( $10^{-4}$ ); редкая проверка состояния оборудования и трубопроводов ( $10^{-2}$ ); износ и коррозия оборудования в силу недостаточного ухода ( $10^{-3}$ ); неверные манипуляции при управлении запорной арматурой ( $10^{-2}$ ); недостаточная обученность персонала по правилам эксплуатации ( $10^{-2}$ ); несоблюдение правил безопасности при эксплуатации системы ( $10^{-2}$ ); прорыв трубопроводов из-за износа или повреждений ( $10^{-3}$ ); попадание посторонних предметов систему перекачки ( $10^{-3}$ ); паводки или наводнения ( $10^{-3}$ ); сейсмическая активность ( $10^{-4}$ ). Вероятностные значения получены из статистических данных и отчета Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [1, 2]. Наиболее вероятной причиной возникновения аварии оказался человеческий фактор, составляющими которого были выделены неверные манипуляции при управлении запорной арматурой, недостаточная обученность персонала по правилам эксплуатации и несоблюдение правил безопасности при эксплуатации системы.

На основе полученных данных был проведен HAZOP-анализ (таблица 1), в ходе которого рассматривались такие отклонения в следствие недостаточной квалификации персонала и неверных манипуляций при управлении запорной арматурой как увеличение уровня жидкости в резервуаре, неконтролируемое увеличение давления в резервуаре и подводящих трубопроводах, а также отсутствие потока газожидкостной смеси.

Таблица 1

Результаты проведения HAZOP-анализа

Отклонение (управляющее слово)	Причина	Последствия	Меры обеспечения безопасности	Приоритет	Уровень серьезности		
					S	E	C
УРОВЕНЬ БОЛЬШЕ	Авария при эксплуатации технологической установки	Прекращение отвода нефтепродукта; неисправность датчика уровня; нарушение технологического режима; разлив нефтепродукта, травмы персонала; пожар на технологической площадке.	Разработка алгоритмов противоаварийной защиты: блокировка работы, пожаротушение, сигнализация (аварийная)	2	E	E	F



ДАВЛЕНИЕ БОЛЬШЕ	Разгерметизация фланцевых соединений; нарушение технологического режима; пожар на технологической площадке; загрязнение окружающей среды; смерть персонала.	и предупредительная); установление необходимого срока проверки оборудования.	1	D	E	F
ПОТОК ГЖС НЕТ	Прекращение подачи исходного продукта; нарушение технологического режима; пожар.	Установка датчиков загазованности с сигнализацией.	3	E	G	F

В результате анализа в качестве общего и наиболее опасного последствия был выделен пожар на технологической площадке. Для выделенного события было составлено дерево событий (рис. 1), в котором отражена вероятность возникновения пожара и выделены цепочки опасных событий, которые могут быть устранены с использованием таких программно-аппаратных средств и слоев защиты как отключение электропитания и активация системы пожаротушения. Числовые значения рядом с наименованием события означают условную вероятность возникновения этого события [3].

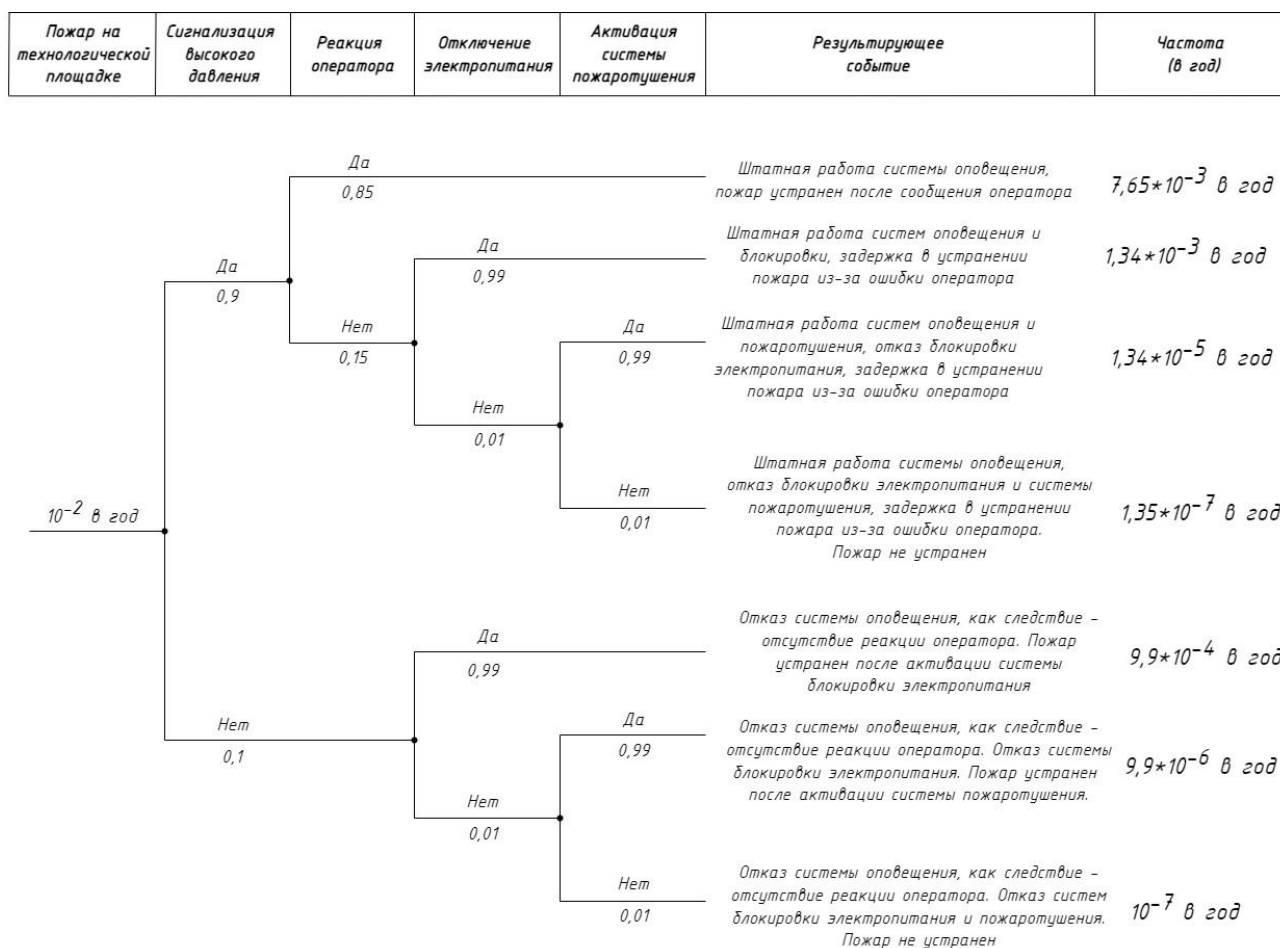


Рис. 1. Дерево событий

Далее с помощью диаграммы риска (рис. 2) определим необходимый интегральный уровень безопасности SIL (Safety Integrity Level), необходимый для сведения к минимуму количества аварийных ситуаций.

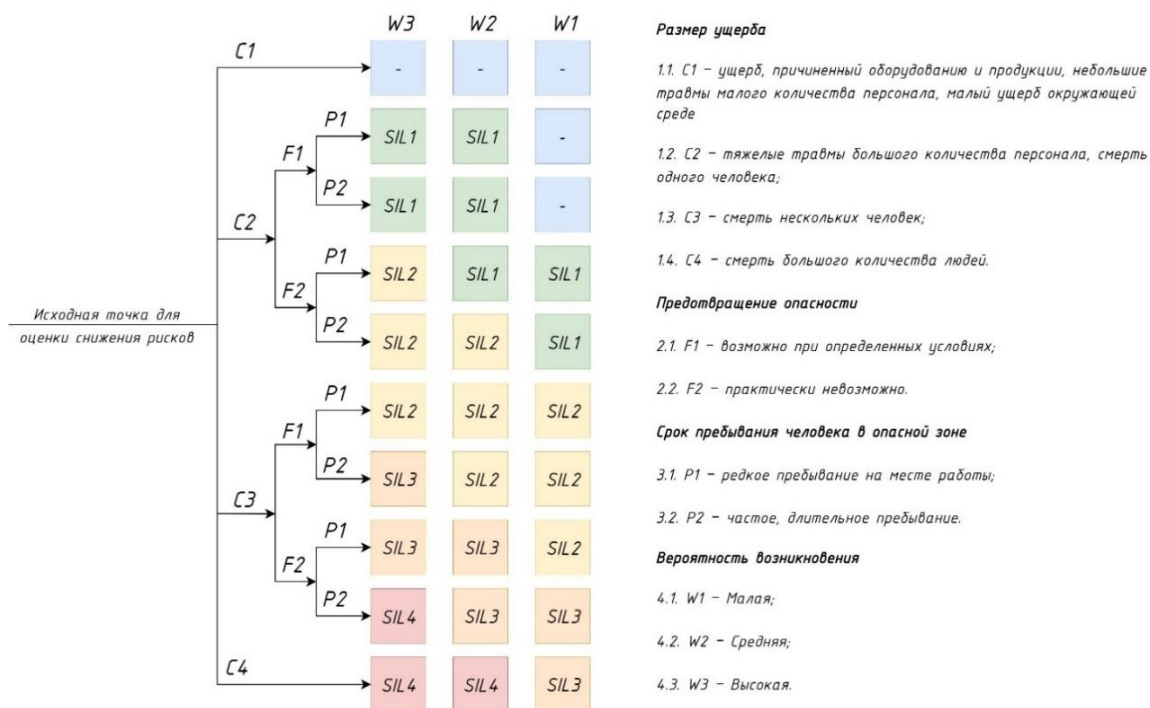


Рис. 2. Диаграмма риска

Анализируя дерево событий в контексте ситуации «Пожар на технологической площадке», описанной в дереве событий, наиболее подходящей будет являться траектория C3F2P1W1: существует вероятность смерть нескольких человек, предотвращение которой практически невозможно, при этом оператор находится в рабочей зоне не постоянно, так как мониторинг ведется с автоматизированного рабочего места АРМ. Вероятность возникновения пожара малая. Исходя из диаграммы риска, представленной на рисунке 2, необходимо обеспечить уровень безопасности SIL2, откуда следует, что допустимым числом отказов будет являться 1 отказ на 1 млн. часов работы [4].

Таким образом, из предварительного анализа можно сделать вывод о том, что основной причиной аварии при эксплуатации системы является ошибка оператора АСУ ТП, однако с точки зрения технической реализации способом уменьшения рисков аварии при неверных действиях оператора является лишь сведение к минимуму его манипуляций при эксплуатации, а также использование таких элементов проектирования SCADA-системы как маскирование или блокировка кнопок при определенных технологических условиях. Соответственно, существует необходимость в создании определенного количества «барьеров», которые препятствовали бы возникновению аварийных ситуаций.

### Оценка факторов риска возникновения аварии и возможных превентивных мер методом «галстук-бабочка»

Подход, применяемый при формировании перечня рекомендаций, формируемых для анализа данных о факторах риска, которые могут привести к неблагоприятным событиям, а также для оценки эффективности мер по снижению риска носит название диаграмма «галстук-бабочка» и применяется в целях получения наглядного представления о факторах риска, а также формирования систематического подхода к анализу рисков и разработке мер по снижению риска. Центральная часть диаграммы представляет собой неблагоприятное событие, которое требуется проанализировать. «Крылья» бабочки представляют собой категорию факторов риска. Каждое «крыло» является отдельной категорией. «Тело» бабочки содержит подробную информацию о факторах риска в каждой категории, разбитую на такие уровни как основные факторы риска, подробные факторы риска, конкретные факторы риска [5]. Факторы риска на разных уровнях связаны друг с другом стрелками для отображения причинно-следственных связей. Барьеры в правой части диаграммы представляют меры по снижению риска, связанные с определенными факторами.

Разработанная диаграмма-бабочка представлена на рис. 3. В качестве центральной части диаграммы было рассмотрено событие неконтролируемого повышения давления в ходе эксплуатации системы. В качестве причин рассматриваемого события были выявлены износ насосных агрегатов, неисправность сбросного клапана, засорение трубопроводов, неисправность запорной арматуры, неверные настройки параметров техн. Оборудования, несвоевременное устранение утечек в трубопроводах, несвоевременное техническое обслуживание оборудования, а также несоблюдение допустимых скоростей перекачки.

Между событием и последствиями были сформированы барьеры обнаружения и контроля с условными обозначения от 1 до 10, расшифровка каждого из которых представлена ниже.

1. Необходимо разработать автоматизированные системы контроля давления в трубопроводах, включая внедрение систем SCADA с высокоточными датчиками, для мониторинга и регулирования давления в реальном времени.

2. Необходимо установить системы дистанционного мониторинга состояния скважин на предмет образований коррозии для предупреждения о возможных проблемах до их возникновения.

3. Необходимо внедрить регулярное техническое обслуживание, используя автоматизированные системы управления техническим обслуживанием для отслеживания проверок оборудования.

4. Необходимо создать централизованные панели управления с визуальными индикаторами и звуковыми сигналами, информирующими операторов о критических изменениях в режиме реального времени для минимизации времени реакции.

5. Необходимо заложить логику аварийного останова при превышении заданного порога давления, мгновенно закрывающего поток и предотвращающего дальнейший рост давления.

6. Необходимо проводить обучение персонала по использованию новых технологий и систем, а также симуляции сценариев аварийных ситуаций для повышения готовности к реагированию.

7. Необходимо использовать программное обеспечение для прогнозирования аварийных ситуаций, основанное на машинном обучении и анализе архивных данных.

8. Необходимо интегрировать системы контроля давления с общими системами безопасности предприятия, чтобы обеспечить автоматическое реагирование на аварийные ситуации.

9. Необходимо применять стандарты проектирования оборудования, выбирая оборудование с избыточными характеристиками прочности для снижения вероятности аварий.

10. Необходимо реализовать байпасные линии и резервирование компонентов АСУ ТП для обеспечения бесперебойной работы установки.



Рис. 3. Диаграмма «галстук-бабочка» для события неконтролируемого повышения давления при эксплуатации системы перекачки нефтепродуктов на базе ГСМ

Для каждого из указанных последствий неконтролируемого повышения давления необходимо установить специализированные системы мониторинга, такие как системы контроля давления, температуры, вибраций, дыма, огня и газов. Эти системы помогут оперативно обнаруживать предвестники возможных аварий и предотвращать серьезные последствия. После обнаружения потенциальной угрозы необходимо иметь механизмы для контроля ситуации. Это включает в себя регулярные инспекции, техническое обслуживание, регулярные проверки и обучение персонала. Такие меры помогут минимизировать риски и предотвратить непредвиденные ситуации. При этом эффективная система безопасности должна включать в себя не только барьеры обнаружения, но и меры контроля и реагирования на обнаруженные угрозы. Данные выводы подчеркивают важность комплексного подхода к обеспечению безопасности на производственных объектах.

### **Заключение**

Таким образом, реализация предложенных рекомендаций позволит не только снизить вероятность возникновения аварий, но и повысить общую безопасность на объектах нефтяной промышленности, что является приоритетной задачей в условиях современного производства. Эффективное управление рисками и профилактика аварийных ситуаций – это залог устойчивого развития отрасли и защиты окружающей среды.

### **Список использованных источников**

1. Годовые отчеты о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2022 году – [Электронный ресурс] – URL: [https://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/).
2. Статистика аварий на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности – [Электронный ресурс] – URL: <https://ntk.kubstu.ru/data/mc/0067/3264.pdf>.
3. Масловский Е.А., Сметанкина Г.И., Дорохова О.В. Возможные причины развития пожара на объектах нефтяной и газовой отрасли // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – № 9. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnye-prichiny-razvitiya-pozhara-na-obektah-neftyanoy-i-gazovoy-otrasli>.
4. ГОСТ Р МЭК 61511-1-2018. Системы безопасности приборные для промышленных процессов. Термины, определения и технические требования промышленности – [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160087?section=text>.
5. Наянов П.А., Хамидуллина Е.А. Метод "галстук-бабочка" в процедуре оценки профессиональных рисков // XXI век. Техносферная безопасность. – 2022. – № 1 (25). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-galstuk-babochka-v-protsedure-otsenki-professionalnyh-riskov>.

# РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО СИГНАЛИЗАТОРА ПРОТЕЧКИ РУБАШЕК ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯТЦ

Сумин Г.В.<sup>1</sup>, Смирнов Н.П.<sup>2</sup>, Надеждин И.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> НИ ТПУ, ИЯТШ, инженер-проектировщик НОЛ ЭАФУ, e-mail: gvs9@tpu.ru

<sup>2</sup> НИ ТПУ, ИнЭС, техник, e-mail: nps7@tpu.ru

<sup>3</sup> НИ ТПУ, ИЯТШ, доцент ОЯТЦ, e-mail: kun9@tpu.ru

## Введение

В рамках федерального проекта Минобрнауки России «Передовые инженерные школы» проводится разработка специальных приборов контроля для предприятий ядерного топливного цикла.

Одной из особенностей данных предприятий является работа оборудования в условиях мощного ионизирующего излучения и воздействия на части прибора химически агрессивных веществ.

В частности, необходимо создание прибора позволяющего контролировать наличие протечек рубашек охлаждения, расположенных внутри аппаратов.

## Описание устройства

Для контроля наличия протечек предлагается измерение электрической проводимости растворов внутри аппаратов с помощью сигнализатора устройство, которого представлено на рис. 1.

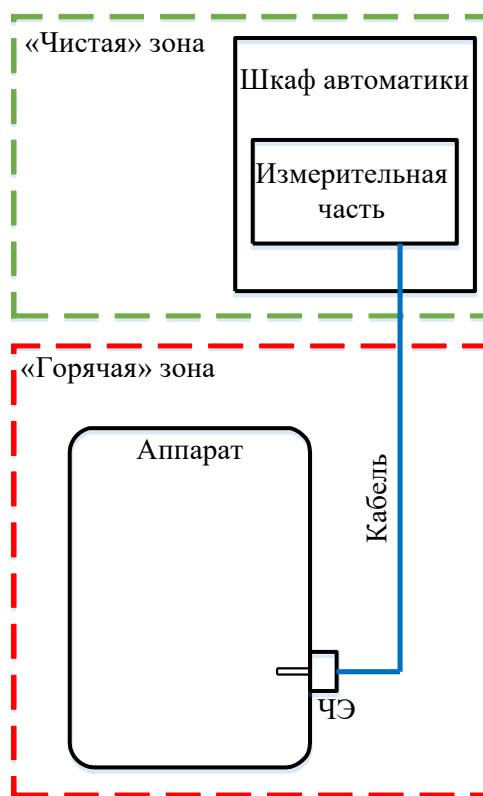


Рис. 1. Схема подключения сигнализатора протечки.

Сигнализатор контроля протечек состоит из двух частей. Первая (чувствительная) часть расположена в «горячей» зоне, вторая (измерительная) часть расположена в машинном зале. Чувствительный элемент, находящийся внутри аппарата изготовлен из нержавеющей стали. Корпуса сигнализатора выполнен из фторопласта. Для подключения используется клеммная колодка с быстро разъемным соединением, для подключения коммуникационного кабеля. Измерительная часть выполнена в виде модуля на DIN-рейку и представляет собой интеллектуальную схему измерения электрической проводимости на базе АЦП и микроконтроллера.

Сигнал от чувствительного поступает на измерительную часть затем преобразуется в показания

проводимости [1, 2]. Значение сигнала постоянно обрабатывается с помощью алгоритма заложенного в памяти контроллера платы.

При нарушении целостности охлаждающего кожуха происходит резкое снижение электрической проводимости, которое фиксируется измерительной частью и на выходе которой формируется логический сигнал, сообщающий оператору или автоматической системе о возникновении протечки. Абсолютное или относительное значение скачка электрической проводимости настраивается отдельно для каждого аппарата в измерительной части сигнализатора.

### **Заключение**

В ходе работы разработан и проверен метод сигнализации протечек в рубашках охлаждения. Разработана плата управления, чувствительный элемент. В ходе испытаний подтверждена работоспособность метода. Прибор рекомендуется к применению на предприятиях ЯТЦ.

### **Список использованных источников**

1. Латышенко К.П. Совершенствование контактной кондуктометрии как метода контроля жидких сред / К.П. Латышенко // Межресп. конф. «Повышение эффективности средств обработки информации на базе математического и машинного моделирования». – Тамбов, 1993. – С. 202–203.
2. Калашников А.А., Горюнов А.Г. Создание технологий автоматизированной поверки измерительных каналов АЭС // Автоматизация в промышленности. – 2022. – № 12. – С. 9–11.

## ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА PNETLAB ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ЛВС

Ткачев М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ,  
г. Санкт-Петербург, mix.tkacheff@gmail.com

### Введение

Цель данной статьи – предоставить подробный обзор PnetLab как инструмента для тестирования защищенности локальных вычислительных сетей (ЛВС). Мы рассмотрим, как PnetLab может быть использован для моделирования атак, проверки мер безопасности, обучения специалистов и проведения аудита безопасности. Также мы обсудим основные функции и возможности PnetLab, его применение в области информационной безопасности и сделаем выводы о его преимуществах и недостатках.

PNETLab, является мощной платформой для симуляции и эмуляции сетей, разработанной для сетевых инженеров и специалистов по информационной безопасности. Созданный с целью предоставить удобный и функциональный инструмент для тестирования и обучения, PnetLab быстро завоевал популярность среди профессионалов и образовательных учреждений. PnetLab был разработан в ответ на растущую потребность в доступных средствах для моделирования и тестирования сетевых конфигураций. Основные идеи заключались в том, чтобы объединить лучшие качества существующих инструментов, таких как GNS3 и Cisco Packet Tracer, добавив уникальные функции для работы с сетевыми симуляциями.

С момента своего появления PnetLab прошел через несколько этапов развития и обновлений, что позволило ему стать одним из наиболее востребованных инструментов в области сетевых технологий. Постоянное совершенствование и добавление новых возможностей обеспечили ему устойчивое место на рынке инструментов для сетевой симуляции.

### Применение *PNETLab* для тестирования защищенности локально-вычислительных сетей

*PnetLab* предназначен для широкого спектра задач, включая обучение, тестирование и исследование сетевых технологий. В контексте тестирования защищенности локальных вычислительных сетей (ЛВС) PnetLab предлагает следующие возможности:

Моделирование сетевых атак: Платформа позволяет создавать и тестировать различные сценарии атак на сеть, такие как DDoS-атаки, атаки типа "человек посередине" (MitM), фишинговые атаки и многие другие.

Проверка мер безопасности: Тестирование эффективности различных мер безопасности, включая межсетевые экраны, системы обнаружения и предотвращения вторжений (IDS/IPS), антивирусные программы и другие средства защиты.

Обучение специалистов: PnetLab широко используется для обучения специалистов по информационной безопасности методам защиты сети и реагирования на инциденты. Проведение аудита и анализа: PnetLab предоставляет возможности для проведения аудита безопасности сети и анализа уязвимостей, что помогает выявлять слабые места и улучшать общую защищенность сети.

Сравнение с аналогичными инструментами.

*PnetLab* часто сравнивают с такими инструментами, как GNS3, EVE-NG и Cisco Packet Tracer, а также специализированными средствами тестирования безопасности, такими как Kali Linux и Metasploit. Каждый из этих инструментов имеет свои особенности и преимущества.

*GNS3*: Популярный инструмент для сетевой симуляции, поддерживающий множество устройств и протоколов. Однако GNS3 может быть сложным в настройке и требовать значительных вычислительных ресурсов.

*EVE-NG*: предлагает мощные возможности для симуляции и поддерживает облачные технологии. Удобен для создания виртуальных лабораторий, но требует лицензии для полноценного использования.

*Cisco Packet Tracer*: Бесплатный инструмент от Cisco, широко используемый в образовательных целях. Прост в использовании, но имеет ограниченные возможности по сравнению с GNS3 и EVE-NG.

*Kali Linux* и *Metasploit*: Специализированные инструменты для тестирования безопасности и проведения пентестов. Обладают мощными средствами для атаки и анализа, но требуют глубоких знаний и опыта для эффективного использования.

*PnetLab* стремится объединить лучшие качества этих инструментов, предлагая простой интерфейс, широкую поддержку устройств и протоколов, а также гибкость и масштабируемость.

Основные функции и возможности.

Симуляция сетей и атак

*PnetLab* предоставляет мощные средства для симуляции сетевых топологий и проведения атак, что позволяет пользователям создавать и тестировать сложные сети и сценарии угроз без необходимости в физическом оборудовании.

Создание топологий: Пользователи могут создавать топологии сетей с помощью графического интерфейса, добавляя и связывая различные сетевые устройства.

Поддержка множества устройств: *PnetLab* поддерживает широкий спектр сетевых устройств, включая маршрутизаторы, коммутаторы, серверы, сетевые хранилища и многое другое.

Эмуляция атак: Возможность симулировать различные типы атак, что позволяет проверять устойчивость сети к угрозам и тестировать меры защиты.

Поддержка различных сетевых устройств и операционных систем.

*PnetLab* поддерживает множество различных сетевых устройств и операционных систем, что делает его универсальным инструментом для сетевой симуляции и эмуляции. Среди поддерживаемых устройств и ОС:

*Cisco IOS*: Широкий спектр маршрутизаторов и коммутаторов Cisco, включая новейшие версии IOS.

*MikroTik RouterOS*: Поддержка популярных устройств MikroTik для симуляции маршрутизации и беспроводных сетей.

*Juniper JunOS*: Возможность эмуляции оборудования Juniper для сетей операторского уровня.

*Linux u Windows*: Поддержка различных дистрибутивов Linux и операционных систем Windows для создания серверов и рабочих станций.

Интеграция с другими инструментами и платформами безопасности.

*PnetLab* может интегрироваться с различными инструментами и платформами безопасности, что расширяет его функциональные возможности и делает его более удобным для использования в сложных сетевых проектах. Основные интеграции включают:

*Wireshark*: Возможность использования *Wireshark* для анализа сетевого трафика внутри симуляции.

*Ansible u Puppet*: Интеграция с инструментами автоматизации для управления конфигурациями сетевых устройств.

Облачные платформы: Поддержка развертывания симуляций в облачных средах, таких как *AWS* и *Google Cloud*.

Пользовательский интерфейс и функциональные особенности.

*PnetLab* предлагает интуитивно понятный пользовательский интерфейс, который делает процесс создания и управления сетевыми топологиями простым и удобным. Основные особенности интерфейса включают:

Графический интерфейс: Визуальный редактор для создания и редактирования топологий сетей с поддержкой *drag-and-drop*.

Консольный доступ: Возможность доступа к командным интерфейсам сетевых устройств через встроенные консоли.

Управление проектами: Поддержка создания и управления множеством проектов, что позволяет организовать работу с различными сетевыми сценариями.

Мониторинг и анализ: Инструменты для мониторинга состояния сети и анализа производительности.

Примеры сценариев использования.

*PnetLab* можно использовать в различных сценариях, от учебных до профессиональных. Вот несколько примеров:

Учебные лаборатории: Создание виртуальных лабораторий для обучения студентов настройке и управлению сетями.

Тестирование новых конфигураций: Проверка и отладка новых сетевых конфигураций перед их внедрением в рабочую сеть.

Исследовательские проекты: Симуляция и анализ новых сетевых протоколов и технологий для научных исследований.



Модули и расширения.

*PnetLab* поддерживает множество модулей и расширений, которые позволяют пользователям добавлять новые функции и улучшать существующие возможности платформы. Некоторые из них включают:

Дополнительные образы устройств: Возможность добавления новых образов сетевых устройств для расширения симуляционных возможностей.

Скрипты и автоматизация: Использование скриптов для автоматизации задач и упрощения управления симуляциями.

Интеграция с *DevOps* инструментами: Поддержка инструментов *DevOps* для улучшения процесса разработки и развертывания сетевых решений.

Применение для тестирования информационной безопасности.

Одним из ключевых применений *PnetLab* является моделирование сетевых атак. Это позволяет специалистам по информационной безопасности создавать и тестировать различные сценарии атак для оценки уязвимостей сети и проверки мер защиты.

*DDoS*-атаки: *PnetLab* позволяет симулировать распределенные атаки типа отказа в обслуживании, что помогает оценить устойчивость сети к таким угрозам.

Атаки типа «человек посередине» (*MitM*): Возможность моделирования атак *MitM* позволяет проверять защищенность коммуникаций в сети.

Фишинговые атаки: Создание сценариев фишинговых атак для проверки готовности сотрудников и эффективности антифишинговых мер.

Тестирование мер безопасности.

*PnetLab* предоставляет инструменты для тестирования различных мер безопасности, включая:

Межсетевые экраны: Тестирование конфигураций межсетевых экранов для предотвращения несанкционированного доступа.

Системы обнаружения и предотвращения вторжений (*IDS/IPS*): Проверка эффективности *IDS/IPS* в обнаружении и предотвращении атак.

Антивирусные программы: Тестирование антивирусных программ для защиты от вредоносного ПО.

Обучение и сертификация специалистов.

*PnetLab* широко используется в образовательных учреждениях и центрах подготовки для обучения специалистов по информационной безопасности. Платформа позволяет создавать реалистичные сетевые топологии и симулировать различные сетевые сценарии, что делает процесс обучения более эффективным.

Практические лаборатории: Создание практических лабораторий для отработки навыков настройки и защиты сетей.

Симуляция инцидентов: Моделирование инцидентов безопасности для обучения методам реагирования и устранения последствий.

Подготовка к сертификациям: Использование *PnetLab* для подготовки к различным сертификационным экзаменам в области информационной безопасности.

Аудит и анализ безопасности.

*PnetLab* предоставляет возможности для проведения аудита безопасности сети и анализа уязвимостей. Это помогает выявлять слабые места и улучшать общую защищенность сети.

Анализ уязвимостей: Проведение анализа уязвимостей для выявления потенциальных точек входа для атак.

Проверка соответствия стандартам: Оценка соответствия сети требованиям различных стандартов безопасности, таких как ISO/IEC 27001, PCI DSS и другие.

Отчетность и рекомендации: Генерация отчетов по результатам аудита и предоставление рекомендаций по улучшению безопасности.

## Заключение

*PnetLab* является мощным и универсальным инструментом для тестирования защищенности локальных вычислительных сетей (ЛВС). Он предоставляет сетевым инженерам и специалистам по информационной безопасности широкие возможности для моделирования атак, тестирования мер без-

опасности, обучения и проведения аудита. Благодаря своей гибкости, простоте использования и поддержке различных сетевых устройств и операционных систем, *PnetLab* становится все более популярным среди профессионалов и образовательных учреждений.

Основные преимущества *PnetLab* включают удобство использования, гибкость и масштабируемость, а также совместимость с популярными инструментами безопасности. Несмотря на некоторые ограничения, такие как требования к аппаратным ресурсам и возможные проблемы с совместимостью, *PnetLab* остается востребованным инструментом для тестирования и улучшения защищенности сетей.

Использование *PnetLab* для тестирования защищенности ЛВС позволяет выявлять и устранять уязвимости, улучшать меры защиты и повышать уровень подготовки специалистов по информационной безопасности. Это делает *PnetLab* важным инструментом для обеспечения безопасности современных сетей.

#### **Список использованных источников**

1. Basile F., Carbone C., Chiacchio P. Simulation and analysis of discrete-event control systems based on Petri nets using PNetLab // Control Engineering Practice. – 2007. – Vol. 15. – № 2. – P. 241–259.
2. Ajiardiawan G., Suryanto Y. Performance analysis of segment routing on MPLS L3VPN using PNETLAB // 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Computer Science Technology (ICAICST). – IEEE, 2021. – P. 185–190.
3. Braun T.M. Satellite Communications, Payload and System. – 2nd ed. – John Wiley and Sons, Inc., 2021. – 716 с.
4. Basile F., Carbone C., Chiacchio P. PNetLab: a tool for the simulation, analysis and control of discrete event systems based on petri nets // IFAC Proceedings Volumes. – 2004. – Vol. 37. – № 18. – P. 213–218.
5. Kucera E., Haffner O., Kozák Š. Modelling and Control of AS/RS Using Coloured Petri Nets with PNetLab Tool.

## ВКЛАД БАБСТОНОВ В ОГРАНИЧЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ОТКРЫТЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ПОДВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ЭНЕРГЕТИКИ

Мышкин В.Ф.<sup>1</sup>, Хан В.А.<sup>2</sup>, Бурдакина О.В.<sup>3</sup>, Семенов Д.А.<sup>4</sup>, Усков Т.И.<sup>5</sup>, Туголуков В.А.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Томский политехнический университет, ИЯТШ, профессор, e-mail: gos100@tpu.ru

<sup>2</sup> Институт оптики атмосферы имени академика В.Е. Зуева СО РАН, внс, e-mail: nt.centre@mail.ru

<sup>3</sup> Томский политехнический университет, ИЯТШ, аспирант, e-mail: zatcepinga@nnc.kz

<sup>4</sup> Томский политехнический университет, ИЯТШ, аспирант, e-mail: DmiAndrSemenov@tvel.ru

<sup>5</sup> Томский политехнический университет, ИЯТШ, группа 0A14, e-mail: tiu1@tpu.ru

<sup>6</sup> Томский политехнический университет, ИЯТШ, группа 0A14, e-mail: vat48@tpu.ru

### Введение

Поверхность океана занимает более 70 % поверхности Земли. При этом мировой океан, дно морей и океанов являются неисчерпаемыми источниками биологических ресурсов, неорганических полезных ископаемых и углеводородов. Поэтому разрабатываются и внедряются технологии освоения подводных ресурсов. При проведении подводных работ по освоению подводных энергетических ресурсов необходимы системы оперативной связи между двумя подвижными объектами, не связанные кабельными линиями. В настоящее время разрабатываются подводные лазерные системы связи.

Основная проблема подводной связи по открытой линии является сезонная и географическая изменчивость оптических параметров открытых подводных линий связи. Как правило, в настоящее время при моделировании работы систем подводных линий связи учитываются не все компоненты водной взвеси. Например, в любой воде присутствуют нанопузырьки, названные Бункиным Н.Ф. бабстонами [1]. При этом стабилизация бабстонов происходит за счет формирования ими кластеров субмикронных размеров. Наличие кластеров игнорируется большинством моделей водных систем.

Поэтому целью настоящих исследований ставилась изучение влияния водной взвеси на распространение наносекундных лазерных импульсов в воде, содержащей лишь кластеры бабстонов.

### Формирование рассеянных потоков и расчетная формула

Распространяющееся в водоемах оптическое излучение ослабляется из-за взаимодействия со взвешенными микрочастицами и растворенными веществами [2]. Считается, что рассеяние излучения в мутных средах играет более важную роль, чем поглощение. Это связано с тем, что за счет рассеяния подсвечивающего излучения в толще воды, объекты под водой наблюдаются на фоне сплошного, в плоскости изображения приемного объектива, потока излучения. Поэтому уменьшается контраст изображения предметов, наблюдаемых через мутную воду. Знание факторов, оказывающих преобладающее влияние на распространение оптических импульсов в мутной воде, необходимо для формирования оптимальной геометрии освещения при проведении подводных работ или разработки и эксплуатации аппаратуры для подводной оптической связи (ПОС) по открытым линиям.

На рис. 1 показаны траектории рассеянных потоков (РП), из которых формируется поток излучения, попадающая в приемную апертуру фотоприемника (ФП) ПОС [3]. Известно, что при каждом рассеянии на микрочастицах мощность лазерного излучения уменьшается в десятки раз. Поэтому при моделировании учитывали лишь двукратное рассеяние. Также возможен вклад потоков излучения, в одно из рассеяний которых происходит от передних поверхностей излучателя (Из) или ФП.

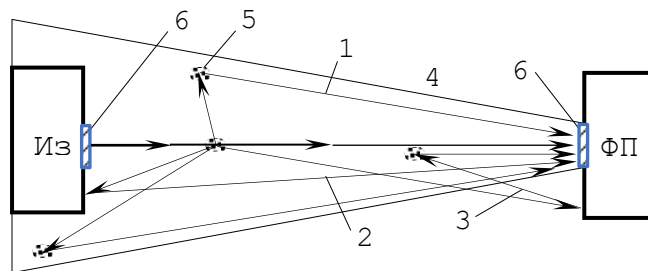


Рис. 1. Схема формирования основных потоков, попадающих на ФП:

1 – двукратное рассеяние; 2 – рассеяние от торца Из; 3 – рассеяние от торца ФП; 4 – апертура ФП; 5 – области рассеяния; 6 – выходящие окна

Формулу для расчета мощности рассеянного потока (РП), для одной компоненты взвеси, сформированного за счет двукратного рассеяния лишь от частиц взвеси на подводной трассе и попадающего на вход ФП, можно представить в виде:

$$P_{рас} = P_0 e^{-\alpha l_1} [CV S^{sca} \sigma(\theta_1) \Omega(\delta)] e^{-\alpha l_2} [CV S^{sca} \sigma(\theta_2) \Omega(\delta)] e^{-\alpha l_3}, \quad (1)$$

где  $\Omega(\delta) = \pi \operatorname{tg}^2 0.5\delta$  - телесный угол между двумя направлениями, для которых рассчитывается индикатриса рассеяния  $\sigma(\theta)$ ,  $S^{sca}$  - эффективное сечение рассеяния,  $C$  – концентрация компоненты взвеси,  $V$  – объем элементарной расчетной ячейки.

Была разработана компьютерная программа, учитывающая следующие потоки, попадающие на вход ФП и определяющие передаточную характеристику трассы ПОС: двукратное рассеяние лишь от частиц взвеси, находящихся как впереди Из, так и позади него; последовательное рассеяние от взвеси и торца Из или ФП. При этом траектория с рассеянием от передней поверхности ФП требует трехкратного рассеяния. Однако, учет этой траектории РП связан со значительно большей эффективностью рассеяния от шероховатой поверхности, чем от аэрозоля.

На рисунке 2 приведен интерфейс программы, позволяющий задавать параметры ПОС: длину трассы, угол приемной апертуры ФП, длительность лазерного импульса. Параметры водной взвеси задаются через файл в формате «txt». Выделена возможность учета или игнорирования потока, рассеивающегося от взвеси, находящегося позади Из. Расчетные данные выводятся в виде графика через интерфейс и записываются в файл после нажатия клавиш «D>F» или «C>F». Программа позволяет учитывать одновременно четыре компоненты взвеси. Результаты расчета выводятся на интерфейс или сохраняются в файл как отдельно для каждой компоненты, с учетом её относительного вклада, так и сумма их любой комбинации. На рис. 2 зеленым цветом показан график временного хода РП от кластеров бабстонов, а черным – суммарный поток, учитывающий также прошедший лазерный импульс. Форму лазерного импульса задавали в виде «трапеции» с длительностью переднего и заднего фронта не более 0,045 нс.

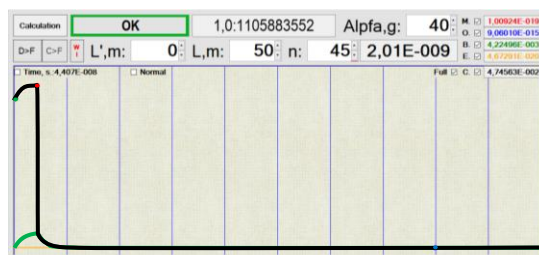


Рис. 2. Интерфейс программы для моделирования кластеров бабстонов: зеленая линия – рассеянный поток; черная – суммарный поток

Из рис. 2 видно расплывание ширины регистрируемого ФП импульса излучения. Это связано с тем, что при большом поле зрения ФП длины трасс РП могут значительно превышать расстояние между излучателем и ФП. Поэтому максимум рассеянного потока может значительно отставать от заднего фронта прошедшего лазерного импульса.

### Результаты моделирования и их анализ

При предварительном моделировании рассматривали лишь следующие условия: поле зрения ФП – 10°, 40°, 90°; размер кластеров бабстонов – 0,16, 0,25, 0,4, 0,6 мкм, длина трассы менее 150 м.

Результаты моделирования для РП, прошедших на ФП для трасс разных длин, приведено на рис. 3. Видно, что для преимущественно рассеивающих частиц, к которым относятся бабстоны, при некоторой длине трассы мощность РП может превышать мощность лазерного излучения, прошедшего на вход ФП без рассеяния.

Возрастание РП связано с увеличением объема, из которого он формируется. Уменьшение РП обусловлено уменьшением проходящего потока на длинных трассах. В зависимости от комбинации диаметра и концентрации кластеров бабстонов график изменения мощности РП ( $P_{sca}$ ) может повторять форму графика, приводимого на рис. 3. Это соответствует условиям: диаметр кластера 0.16 мкм, их концентрация  $10^8 \text{ см}^{-3}$  при величине поля зрения ФП 10° и 90°; а также условиям: 0.25 мкм,  $10^8 \text{ см}^{-3}$ , 90°. Для всех остальных рассматриваемых случаев график зависимости РП от длины трассы составляет

восходящую или спадающую часть графика, приведенного на рис. 3. При концентрации  $10^9 \text{ см}^{-3}$  соотношение  $P_{\text{max}}/P_{\text{tr}}$  доходит до 0.3 и уменьшается при уменьшении концентрации. Например, при концентрации  $10^8 \text{ см}^{-3}$  эта величина уменьшается до 0.03. При концентрациях не более  $10^7 \text{ см}^{-3}$  величина  $P_{\text{max}}/P_{\text{tr}}$  не превышает  $10^{-4}$ .

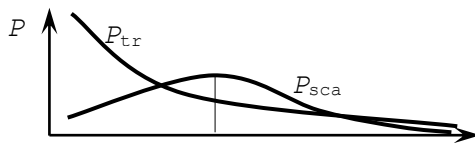


Рис. 3. Зависимость от длины трассы мощности РП на входе в ФП:  
 $P_{\text{tr}}$  – прошедший поток;  $P_{\text{sca}}$  – рассеянный поток

На рис. 4 приведена обобщенная форма выходного сигнала ФП для лазерных импульсов длительностью менее 1 нс. При этом рассеяние происходит от преимущественно рассеивающей среды. Рис. 4 показывает, что при распространении в рассеивающей среде уменьшается отношение переменной составляющей электрического тока ФП к максимальному току, формируемому бабстонами, являющийся соотношением сигнал-шум.

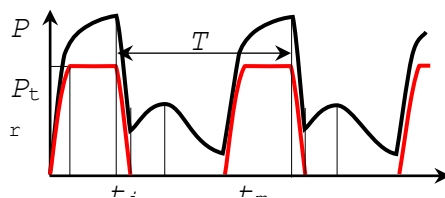


Рис. 4. Общий вид сигнала ФП, формируемом серией импульсов:  
 красная линия – лазерные импульсы; черная – суммарный поток

Результаты моделирования показывают, что на подводной трассе, содержащей лишь кластеры бабстонов диаметрами 0.16 мкм и 0.25 мкм и не содержащей других взвешенных частиц (чистая прозрачная вода), мощность РП, попадающего на ФП, значительно меньше, чем прошедшего потока. При концентрации кластеров бабстонов  $10^5$ - $10^6 \text{ см}^{-3}$ , прошедший поток составляет не менее 0,9 от падающей величины, даже на трассах длиной более 100 м. Поэтому на трассах длиной 1-150 м в чистой воде влиянием кластеров бабстонов на ширину прошедших оптических импульсов длительностью 2 нс можно пренебречь, даже при максимальной скорости передачи информации.

Вторая причина ограничения длины линии связи ПОС, кроме дисперсии передаваемых импульсов, может быть связана с уменьшением мощности прошедшего на ФП излучения. Данные расчетов показывают, что фатальное ослабление в 60 дБ для телекоммуникационных линий через чистую воду достигается при увеличении длины линии.

## Заключение

Показано, что дисперсией лазерных импульсов длительностью 2 нс, используемых на подводных линиях связи, при наличии в воде лишь бабстонов, можно пренебречь. Ограничение длины трассы ПОС связано с ослаблением излучения.

## Список использованных источников

1. Бункин Н.Ф., Бункин Ф.В., Бабстонная структура воды и водных растворов электролитов // УФН. – 2016. – Т. 186, № 9. – С. 933–952. – DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2016.05.037796>.
2. Yi X., Li Z., Liu Z. Underwater optical communication performance for laser beam propagation through weak oceanic turbulence // Appl. Opt. – 2015. – Vol. 54, № 6. – P. 1273–1278.
3. Myshkin V.F., Khan V.A., Turin S.V., Poberejnikov A.D., Balandin S.F., Sosnovskiy S.A., Abramova E.S. Propagation of optical pulses in natural waters // Proc. SPIE 12341, 28<sup>th</sup> International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 123411E, 7 December 2022. – DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2644982>.

# ПРИМЕНЕНИЕ ПАТТЕРНА BLoC ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МАСШТАБИРУЕМЫХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ПЛАТФОРМЕ FLUTTER

Францев А.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ, г. Санкт-Петербург, artemkaz1412@yandex.ru

## Введение

Целью данной статьи является всесторонний обзор и глубокий анализ архитектурных паттернов, используемых при создании масштабируемых приложений на платформе Flutter. В работе рассматриваются наиболее популярные архитектурные решения, такие как BLoC, Provider, MVVM, Redux и другие. Особое внимание уделяется их применению в условиях разработки крупных проектов с высокой нагрузкой, а также их влиянию на производительность, поддерживаемость и возможность дальнейшего расширения приложений.

Каждый паттерн анализируется с точки зрения его структуры, принципов работы и особенностей внедрения, что позволяет выявить сильные и слабые стороны каждой архитектуры. Также проводится сравнительный анализ их применимости в зависимости от сложности приложения, его бизнес-логики и требований к пользовательскому интерфейсу.

Дополнительно рассматриваются факторы, влияющие на выбор архитектурного паттерна, такие как требования к тестированию, удобство поддержки, возможность горизонтального масштабирования, и гибкость в интеграции с другими системами. На основе проведенного анализа формируются рекомендации по выбору оптимальной архитектуры для разработки крупных и высоконагруженных приложений на Flutter, что позволяет обеспечить баланс между сложностью внедрения, эффективностью работы и долгосрочной поддерживаемостью приложения.

## Паттерн BLoC (Business Logic Component)

*BLoC (Business Logic Component)* – один из наиболее популярных и широко применяемых архитектурных паттернов в экосистеме *Flutter*. Его основная цель – отделить бизнес-логику приложения от пользовательского интерфейса, что особенно важно для крупных, масштабируемых приложений. Важной характеристикой *BLoC* является использование потоков (*Streams*) для управления состоянием, что обеспечивает реактивную модель взаимодействия между компонентами приложения.

Четкое разделение ответственности: *BLoC* помогает строго разграничить бизнес-логику и пользовательский интерфейс (*UI*), что упрощает поддержку и масштабирование приложения. В традиционной архитектуре, бизнес-логика и логика представления могут быть тесно связаны, что приводит к усложнению кода. *BLoC* устраняет эту проблему, предлагая модель, в которой бизнес-логика инкапсулирована в отдельных компонентах (*BLoC*), а *UI* взаимодействует с этими компонентами через потоки данных.

Использование потоков (*Streams*): В *BLoC* бизнес-логика передает данные во внешние компоненты через потоки (*Streams*), которые могут быть асинхронными. Это позволяет эффективно управлять состоянием приложения в реальном времени, реагируя на события, происходящие в *UI*, или внешние изменения (например, обновления данных из сети).

*Input* (входные потоки): События от пользователя (например, нажатия кнопок, ввод текста) передаются в *BLoC* через «*sink*», где обрабатываются бизнес-логикой.

*Output* (выходные потоки): после обработки *BLoC* отправляет результат работы через выходные потоки, которые *UI* слушает для обновления интерфейса.

*Реактивность*: Один из ключевых элементов *BLoC* – реактивная модель. Все изменения состояния передаются через потоки, что позволяет *UI* «подписываться» на обновления состояния и автоматически реагировать на изменения. Это повышает гибкость интерфейса и делает код более предсказуемым.

Пример работы *BLoC* в приложении:

В *BLoC*-архитектуре мы можем рассмотреть базовый сценарий – взаимодействие с формой ввода пользователя.

Пользователь вводит данные в текстовое поле, данные обрабатываются в *BLoC* как событие. Внутри *BLoC* происходит валидация введенных данных. Например, если это форма авторизации, то вводимый *email* проверяется на соответствие шаблону.

После проверки данных *BLoC* отправляет в *UI* результат – сообщение об успешной или неудачной валидации. Если данные валидны, форма отправляется на сервер для аутентификации.

Таким образом, вся логика проверки, обработки ошибок и отправки данных изолирована в *BLoC*, что значительно упрощает тестирование и поддержку *UI*.

Плюсы и минусы паттерна *BLoC*

Преимущества:

Масштабируемость: *BLoC* прекрасно подходит для крупных приложений благодаря четкому разделению ответственности. Чем больше приложение, тем важнее разделять бизнес-логику и логику представления, чтобы избежать путаницы и сделать код более читаемым и поддерживаемым.

Модульность: благодаря четкому разграничению бизнес-логики и *UI*, различные компоненты приложения могут разрабатываться и тестироваться отдельно. Это особенно полезно в проектах, где несколько команд работают над разными частями кода.

Тестируемость: *BLoC* обеспечивает высокую степень тестируемости. Поскольку бизнес-логика отделена от *UI*, можно писать юнит-тесты для бизнес-логики, не завися от интерфейса. Потoki, которые используются для передачи данных, также можно легко тестировать.

Реактивная модель: Использование потоков (*Streams*) делает приложение гибким и позволяет эффективно обрабатывать асинхронные данные. *UI* автоматически обновляется в ответ на изменения состояния, что улучшает пользовательский опыт.

Недостатки:

Сложность для небольших приложений: для небольших или простых приложений использование *BLoC* может быть избыточным. Поддержка потоков и разделение логики могут привести к усложнению кода, если приложение не требует таких архитектурных решений.

Большое количество шаблонного кода: для реализации *BLoC* требуется написание большого объема кода шаблонного характера, что может замедлить разработку на ранних этапах, особенно для команд, которые только начинают работать с этим паттерном.

Крутая кривая обучения: поскольку паттерн *BLoC* включает использование потоков и реактивного программирования, для новичков может быть сложно сразу освоить все его аспекты. В особенности сложными могут оказаться ситуации, когда необходимо работать с несколькими потоками и событиями.

Пример использования *BLoC*:

Рассмотрим простое приложение, где пользователь нажимает кнопку, и счетчик увеличивается на единицу. В этом случае мы создаем:

Событие (*Event*): определяем событие, которое будет вызываться при нажатии кнопки.

Состояние (*State*): определяем состояние, которое хранит текущее значение счетчика.

*BLoC*-класс: создаём *BLoC*-класс, который обрабатывает событие и обновляет состояние с увеличенным значением счетчика, пример такого взаимодействия показан на рис. 1.

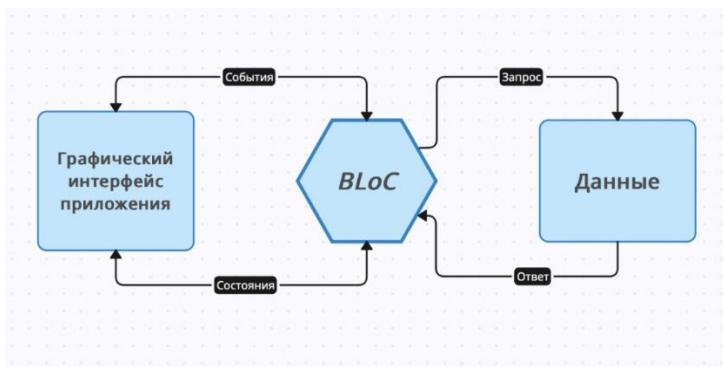


Рис. 1. Пример работы *BLoC* в приложении  
*BLoC* – Business logic component

В этом примере *UI* взаимодействует с *BLoC* через события, а *BLoC* отправляет обновленное состояние обратно в *UI*. Такая структура позволяет легко расширять функциональность приложения, добавляя новые события и состояния по мере необходимости.

Применение *BLoC* в крупных приложениях:

*BLoC* особенно эффективен в крупных и сложных приложениях, где требуется управление множеством состояний, событий и данных. Например, в приложениях с динамическим пользовательским интерфейсом, интеграцией с внешними API и сложной логикой взаимодействия компонентов, *BLoC* помогает структурировать код и поддерживать его в чистоте.

Использование *BLoC* позволяет сделать приложение гибким и легко масштабируемым. В сложных проектах он способствует улучшению читаемости кода, разделению ответственности и облегчает работу команд разработки, так как каждая часть приложения может развиваться автономно.

Таким образом, *BLoC* является мощным архитектурным инструментом для создания масштабируемых приложений на *Flutter*, обеспечивая надежную основу для реализации сложной бизнес-логики, управления состоянием и поддержки долгосрочных проектов.

## Заключение

В данной статье был проведен всесторонний анализ паттерна BLoC и его применимости для создания масштабируемых приложений на платформе Flutter. Мы рассмотрели основные принципы работы BLoC, такие как четкое разделение бизнес-логики и пользовательского интерфейса, использование потоков для управления состоянием и реактивная модель взаимодействия компонентов приложения. Проведенный анализ показал, что данный паттерн особенно эффективен при разработке крупных и сложных приложений, где требуется поддержка множества состояний, событий и асинхронного взаимодействия.

BLoC позволяет повысить тестируемость, поддерживаемость и модульность приложения, что критически важно для долгосрочных проектов с высокой нагрузкой. Однако его использование в небольших приложениях может оказаться избыточным, что требует осознанного выбора архитектурного решения в зависимости от требований проекта.

## Список использованных источников

1. Абрамов А.Ю. Разработка мобильных приложений на Flutter: от основ до продвинутых техник. – Москва : ДМК Пресс, 2021. – 512 с.
2. Блинов А. Архитектурные паттерны в мобильной разработке: BLoC, MVVM и другие. – Санкт-Петербург : Питер, 2022. – 368 с.
3. Григорьев С.Н. Flutter и Dart: руководство по разработке кроссплатформенных приложений. – Москва : БХВ-Петербург, 2021. – 480 с.
4. Иванов В.А. Масштабируемые приложения на Flutter: архитектура и паттерны. – Санкт-Петербург : Наука и Техника, 2023. – 356 с.
5. Лебедев С.И. Тестирование и отладка приложений на Flutter: практическое руководство. – Москва : Издательство Бинوم, 2022. – 330 с.
6. Романов А.Е. Flutter в действии: основы и продвинутые темы. – Екатеринбург : Уральский университет, 2020. – 460 с.
7. Смирнов П.Л. Разработка на Flutter: практические примеры и советы. – Москва : Вильямс, 2021. – 290 с.
8. Тарасов И.В. Архитектурные решения для мобильных приложений: практическое руководство на примере Flutter. – Санкт-Петербург : Корона-Принт, 2022. – 372 с.
9. Фролов М.Н. BLoC и другие архитектурные паттерны в мобильных приложениях. – Москва : Диалектика, 2023. – 410 с.



## БЕЗУДАРНАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ЭНЕРГОСЕТИ

Стоцкая А.Д.<sup>1</sup>, Лавриновский В.С.<sup>2</sup>, Юровская В.В.<sup>3</sup>, Мигранов Р.М.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, к.т.н., доцент, декан

<sup>2</sup> СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, ст. преподаватель, e-mail: vslavrinovskii@etu.ru

<sup>3</sup> СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, инженер, e-mail: yurovskaya.658@mail.ru

<sup>4</sup> СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, ассистент, e-mail: rmmigranov@etu.ru

### Введение

В настоящее время актуальным становится вопрос развития территорий дальнего востока и крайнего севера [1]. Однако, доступ к централизованной инфраструктуре в таких регионах затруднен. Для снижения затрат на завоз топлива в удаленные территории целесообразно использовать различные источники энергии, такие как ветряные и солнечные электростанции, имеющие стохастический характер, и газопоршневые агрегаты, обладающие меньшей приемистостью по сравнению с дизелем. Каждый из этих источников лучше выполняет свои задачи после дополнения накопителем энергии. Однако, их всех необходимо синхронизировать быстро, чтобы иметь возможность подменять один источник другим без последствий для сети.

Предметом рассмотрения статьи является процесс введения в синхронизм группы преобразователей. В работе предлагается методика синхронизации группы преобразователей на основе явления самосинхронизации связанных осцилляторов. Методика основана на описании связанных осцилляторов Курамото [2], являющейся упрощенной версией описания Уинфри [3], а также использует обобщенный интегратор второго порядка для восстановления ортогональных колебаний и нелинейный осциллятор Хопфа в качестве основного осциллятора.

### Основная часть

Явление самосинхронизации состоит в том, что несколько искусственно созданных или природных объектов (далее – нод), совершающих при отсутствии взаимодействия колебательные или вращательные движения с различными частотами (угловыми скоростями) и/или фазами, при наложении даже слабых связей начинают двигаться с одинаковыми, кратными или находящимися в рациональных отношениях частотами (угловыми скоростями), причем устанавливаются определенные фазовые соотношения между колебаниями (вращениями) [4].

Описание связанных осцилляторов Курамото [2], который упростил модель Уинфри [5] и получил для нее аналитические решения, что значительно усилило интерес к вопросу самосинхронизации выглядит как

$$\dot{\theta}_i = \omega_i + \varepsilon \frac{K}{N} \sum_{j=1}^N \sin(\theta_j - \theta_i), \quad i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

где  $K$  – матрица связности, принимающая значение 1 при наличии связи и 0 при отсутствии  $1/N$  – масштабный коэффициент, обеспечивающий наличие предела системы при  $N \rightarrow \infty$ .  $\varepsilon$  – общий параметр связи

Описание Курамото позволило аналитически исследовать решения [6, 7] систем связанных осцилляторов на устойчивость колебаний и условия самосинхронизации, поскольку не зависит от описания осцилляторов и при любом количестве нод может быть сведена к системе третьего порядка. В числе различных исследований была проанализирована зависимость самосинхронизации нод от структуры связей между ними [8]. Основной подход к формированию сети осцилляторов, склонных к спонтанной самосинхронизации – избегать замкнутых циклов в графе связей. Тогда спонтанная синхронизация возникает при коэффициенте связности (отношение числа связей одной ноды к числу нод) около 68 %. Однако, ряд графов могут проявлять свойство самосинхронизации и при меньшей связности, например приведенные на рис. 1.

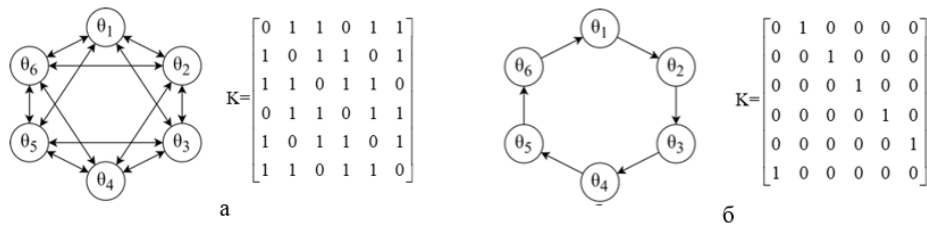


Рис. 1. Граф связей обобщённых осцилляторов с соответствующей матрицей;  
а – полная модель, б – упрощенная модель

Сложностью в применении модели Курамото, однако, является недоступность фазы соседней ноды к прямому измерению. При малых углах отклонения можно принять допущение  $\sin(x)=x$  исключив тригонометрические функции. В такой, линейной, интерпретации сходимость уже не будет зависеть от расположения связей.

Восстановить ортогональные гармонические функции можно воспользовавшись обобщенным интегратором второго порядка [9]. Обобщенный интегратор второго порядка и его ЛАЧХ приведены на рис. 2. Основными проблемами для SOGI являются: постоянное смещение, гармонические искажения входного сигнала, колебания частоты и колебания амплитуды входного сигнала.

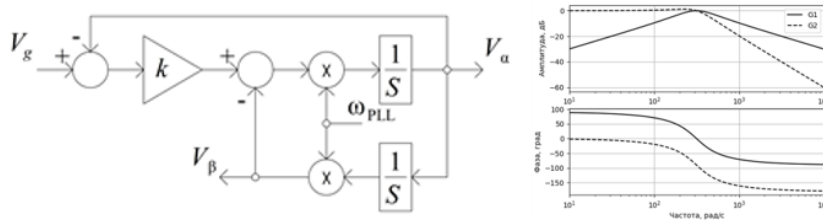


Рис. 2. Обобщенный интегратор второго порядка и его ЛАЧХ

Решения для всех озвученных проблем уже существуют, однако, не относятся к теме статьи. В качестве основного осциллятора выбран осциллятор Хопфа [10], фазовая траектория которого приведена на рис. 3, а.

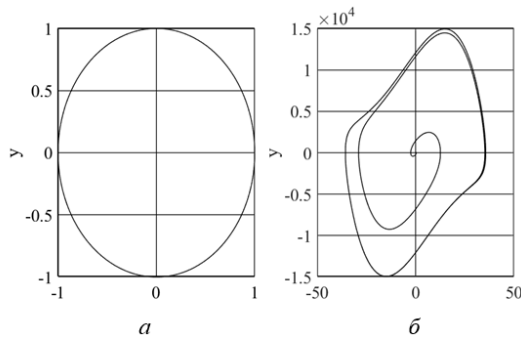


Рис. 3. Фазовые траектории осциллятора Хопфа (а) и Ван-Дер-Поля (б) для больших  $\mu$

Среди нелинейных осцилляторов наиболее известными являются осцилляторы Хопфа и Ван - Дер-Поля. Однако, предельный цикл (при большом параметре амплитуды) у осциллятора Ван - Дер-Поля сильнее отличается от окружности. Результирующая структура ноды с четырьмя внешними связями приведена на рис. 4.

Добавление стабилизации амплитуды требуется для компенсации влияния внешних связей на амплитуду выходного сигнала в процессе синхронизации. Результат синхронизации приведен на рис. 6. В рамках синхронизации каждый из осцилляторов имеет частоту 50 Гц и начальные фазы со случайным разбросом в диапазоне от 0 до  $2\pi$ .

$$\begin{aligned} \dot{x} &= (\mu - r^2)x + \omega y + kF, \\ \dot{y} &= (\mu - r^2)y - \omega x. \end{aligned} \quad (2)$$

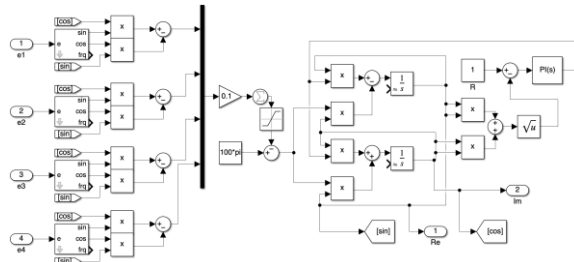


Рис. 4. Нода с четырьмя внешними связями

Как видно из рис. 5, фазы осцилляторов сошлись и дальнейшего расхождения не происходит, что позволяет осуществлять в перспективе безударную синхронизацию независимо от динамики коммутационной аппаратуры.

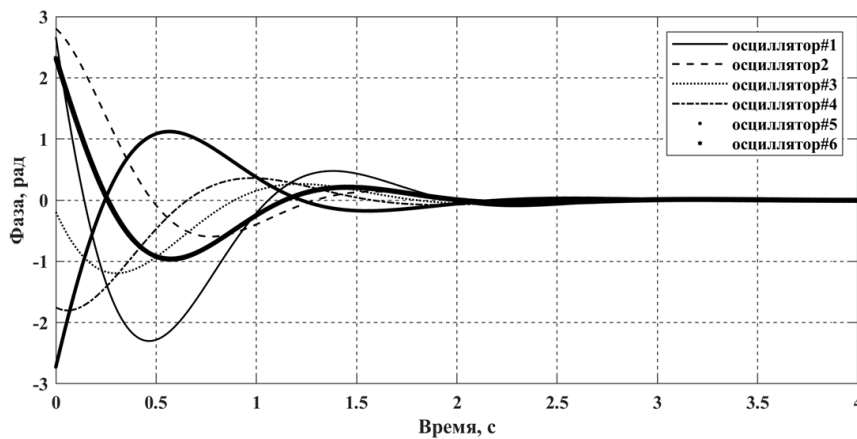


Рис. 5. График невязки в ходе процесса синхронизации шести осцилляторов к эталонному

Для проверки устойчивости синхронизированного состояния проверим время синхронизации для группы из шести нод с различным значением коэффициента связи. Значение  $\epsilon$  изменяется от 0.1 до 15, на каждое значение выполняется 10 опытов, опыты выполняются без общего эталона. Результаты приведены на рис. 6, б для предлагаемой системы с разбросом частот  $\pm 5\%$  и случайной начальной фазой от 0 до  $2\pi$ , и 6 а для разброса в  $2\pi$  с моделью Курамото и на рисунке 6 в для начального разброса в  $\pi$  с моделью Курамото с равными частотами осцилляторов. Точки со временем 30 с на графиках соответствуют отсутствию синхронизации по фазе.

Как видно из рис. 6, в, если изначально у всех осцилляторов начальный разброс фазы составляет от 0 до  $\pi$ , то синхронизация осуществляется за конечное время. Однако, при большем разбросе и разных частотах, рис. 6, а, в модели Курамото могут возникать статические состояния с равной частотой, но с отличающимися фазами, распределенными по устойчивым уровням  $2\pi/N$ , где  $N$  – число осцилляторов.

Если начальный разброс фазы составляет от  $-\pi$  до  $\pi$ , то точной синхронизации, с точностью 0.16 %, не происходит в ряде случаев. Даже после ослабления критерия синхронизации до 1 %, несинхронизированные осцилляторы остаются.

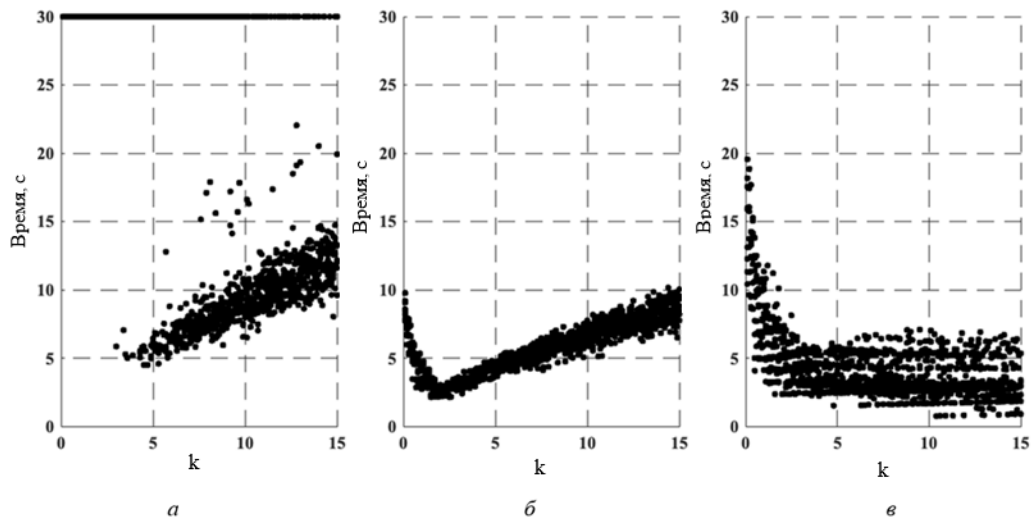


Рис. 6. Проверка устойчивости синхронизации

В линейной системе рис. 6 б, при любой величине коэффициента связи синхронизация обеспечивается. Таким образом, мы получили инструмент для синхронизации большого количества однотипных осцилляторов. Далее следует проверить, будет ли корректно выполняться синхронизация в рамках систем управления статическими преобразователями.

### Заключение

В работе исследованы и реализованы в виде компьютерных моделей алгоритмы синхронизации группы осцилляторов между собой и с внешней сетью. В рамках модельного эксперимента предложена структура отдельной ноды, способная использовать информацию только о мгновенном напряжении связанных нод. Такой подход выбран для сохранения возможности работать с устройствами, использующими иные подходы к синхронизации.

Процесс синхронизации в симметричной сети рассмотрен на примере шести инверторов, работающих на общую нагрузку. Одной из существенных сложностей объединения источников, накопителей и потребителей в единую сеть в рамках microgrid является проблема синхронизации, требующая в настоящее время сложной процедуры синхронизации. Поэтому в работе был предложен подход к синхронизации, обеспечивающий самостоятельное втягивание в синхронизм устройств до момента их подключения к сети.

### Список использованных источников

1. Инициативу Корпорации развития Дальнего Востока и Арктики по развитию локальной энергетики на удаленных и изолированных территориях поддержали на круглом столе АСИ: Публикация от 30 августа 2024 года. – URL: <https://asi.ru/news/201537/> (дата обращения: 05.09.2024)
2. Steven H. Strogatz, From Kuramoto to Crawford: exploring the onset of synchronization in populations of coupled oscillators // *Physica D: Nonlinear Phenomena*. – 2000. – Vol. 143, no. 1–4. – P. 1–20.
3. Winfree A.T. Oscillating systems. On emerging coherence // *Science*. – 2002. – Vol. 298 (5602). – P. 2336–7. doi: 10.1126/science.1072560. PMID: 12493899.
4. Blekhnman I. Synchronization of dynamic systems/ Nauka, Moscow, 1971.
5. Biological Rhythms and the Behavior of Populations of Coupled Oscillators ARTHUR T. WINFREE Department of Biology, Princeton University, Princeton, New Jersey 08540, U.S.A. (Received 3 October 1966)
6. Steven H. Strogatz, From Kuramoto to Crawford: exploring the onset of synchronization in populations of coupled oscillators // *Physica D*. – 2000. – Vol. 143. – P. 1–20.
7. Gallego R, Montbrió E, Pazó D. Synchronization scenarios in the Winfree model of coupled oscillators // *Phys Rev E*. – 2017. – Vol. 96 (4-1) – P. 042208. – doi: 10.1103/PhysRevE.96.042208. Epub 2017 Oct 17. PMID: 29347589.
8. Daniel A. Wiley, Steven H. Strogatz, Michelle Girvan; The size of the sync basin // *Chaos*. – 2006. – Vol. 16 (1). – P. 015103. – <https://doi.org/10.1063/1.2165594>.
9. Prakash S., Singh J. & Behera R. & Mondal A. Comprehensive Analysis of SOGI-PLL Based Algorithms for Single-Phase System. – 2019. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/NPEC47332.2019.9034724.
10. Righetti L., Buchli J. & Ijspeert A.J. Dynamic Hebbian learning in adaptive frequency oscillators // *Physica D: Nonlinear Phenomena*. – 2006. – Vol. 216. – P. 269–281.

## **Секция 5. Искусственный интеллект в системах принятия решений**

## ВЛИЯНИЕ AI НА ПРОИЗВОДСТВО, ПЕРЕДАЧУ И ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

*Аветисян А.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Иркутский национальный исследовательский технический университет, ИЭМ-24,  
avetisyan\_geven@mail.ru*

### **Введение**

Наука и технология творения интеллектуальных машин (AI) только начинает свой тернистый путь в секторе энергопроизводства, но его использование бурно увеличивается в размерах и обладает существенным потенциалом может существенно преобразовать подходы генерации, передачи и расхода электроэнергии. Помимо уже широко применяемых способов применения AI в производстве, в частности, для урегулирования прогностических установок в секторе устранения дефектов и обслуживания оборудования, в электроэнергетике существуют и несколько определенных секторов. Они интересны не только своей особенностью, но и возможным влиянием на традиционную систему этого сектора, взаимоотношения в ней и на удобство ведения предпринимательской деятельности и удобство качества жизни.

Использования высоких нейронных технологий в электроэнергетике стоит подразделить на некоторые главные направления развития.

Первый сектор деятельности это применение технологий ИИ для прогноза производства энергии из ВИЭ, таких как ветряные и солнечные электростанции. В РФ, где доля таких электростанций незначительна и вопрос метеозависимости ВИЭ интересна лишь для определенных мест в южной части государства, во многих других же энергосистемах мира эта проблема уже переросла в глобальную.

Протокол нейронных связей исследуют хронологические сведения, погодные карты, спутниковую информацию, сведения метеостанций, чтобы создать прогнозы по степени загрузки и количественному показателю генерации электроэнергии от солнечных электростанций. Такие сведения о прогнозе загрузки ВИЭ-объектов позволяет планировать загрузку топливных электростанций и режимы работы сети более разумно. Помимо прочего, точный прогноз изменения объемов генерации электроэнергии от ВИЭ позволяет конкретно прогнозировать стоимость на спотовом рынке электроэнергии. Поскольку расходы на генерацию электроэнергии на ВИЭ-объектах в действительности никакие из-за недостатка расходов на ресурсы, большие объемы дешевой электроэнергии могут создать существенное давление на падение рыночных цен в некие промежутки времени [1].

К примеру, можно отметить организацию Xcel, которая применяет методы ИИ для обработки данных, направленных из центра исследований по исследованию атмосферы, включая спутниковые наблюдения.

Организация Meteo-Logic, работает над исследованием данных в погодных предсказаниях и их действии на энергетический рынок. Они применяют машинное обучение и большие данные для образования протоколов, что способны модернизировать качество конкретики погодных прогнозов, оценивая воздействия погоды на энергоснабжение.

Компания IBM показала перспективу к модификации качества прогнозов по солнечной активности благодаря ИИ на треть. Эта методика воссоединила огромное количество прогнозных моделей и большое количество данных об окружающей среде и функционированию солнечных электростанций. Интервал предсказаний занимает от 15 минут до 30 дней. Создатели утверждают о 50 % преимуществе в точности по сопоставлению с конкурирующими образцами, которые предугадывают солнечную активность.

Объединение ученых из Инженерного университета Пешавара информирует, что применение нейронных технологии дает возможность получить довольно количество конкретных прогнозов генерации ветряной энергии в рамках от часа до года с погрешностью, не превышающей 1,049 % с дискретностью от почасовой до дневной сортировки.

Отсюда следует, AI-технологии дают огромные опции для внедрения ВИЭ в энергосистемы, уменьшают их однозначность и оказывают положительное влияние для приемлемого предпринимательства мощности, как на сегодняшний день, так и в перспективе. Более конкретное прогнозирование генерации электроэнергии также нужно для боссов ВИЭ в свете ужесточения норм на энергетических

платформах, когда системные диспетчеры начинают требовать от хозяина таких источников проектирования генерации на грядущий интервал времени. Также имеется обратное влияние: возникновение искусственных технологий, позволяющих конкретно прогнозировать генерацию электроэнергии от ВИЭ в перспективе, что дает возможность отменить льготы, относящихся с первоочередным потреблением энергии от таких источников, которые ранее возникали на рынках энергии.

Второй сектор деятельности это применение искусственного разума в энергетическом комплексе, а именно, предсказания спроса и цен на спотовом рынке электроэнергии. В глобальной энергетике AI уже по полной используется для прогнозирования торговой тенденции на энергорынках, но в РФ этот способ только начинает привлекать широкое внимание. Анализ, произведенный в ВШЭ, показало, что средние абсолютные ошибки прогноза стоимости на оптовом рынке электроэнергии с применением ИИ является от 2,48 % до 3,41 %.

Использование искусственного интеллекта для предугадывания спроса и цен на рынке электроэнергии помимо экономии расходов также может работать информационной базой для технологий регулирования спросом. В интервалы времени с высокой стоимостью электропотребление может переключаться от целой структуры на персональные материалы.

Еще один сектор обращения искусственного интеллекта в электроэнергетике - регулирование конфигурацией и режимами взаимодействия малых местечковых умных энергосетей. Микросети возникают в расположенных далеко и отдельных местах или на территориях, где источник применения централизованной системы сложен или невозможен. Они дают возможность качественно соединить между собой районные энергоисточники, такие как солнечные панели, и обмениваться электроэнергией внутри микросети, минимизирует использование общей сети. Отрасль AI используется в микросетях для автоматического балансирования работы распределенных энергоисточников и локальных колебаний спроса.

Третье направление использования AI в электроэнергетике - повышение эффективности взаимодействия энергосистемы и потребителей. Традиционно энергетики и регуляторы видят потребителей крупные географические и демографические категории. Однако каждый потребитель создает большой поток данных, который проходит через электрическую сеть. Умные измерения позволяют получать информацию о нагрузке на сеть, использовании электроприборов и привычках потребителей. AI может помочь в понимании образа жизни потребителей, их поведения и предпочтений, что может быть полезным для оптимизации энергоснабжения как домашних, так и коммерческих и промышленных потребителей.

Четвертый вектор использования высоких способностей искусственного интеллекта это рост производительности работы между энергосистемой и потребителями. Главная цель в этом секторе - понять, как изменяется спрос и что на него влияет. Вместо укрупненного видения потребителей через географические категории, AI позволяет получать разнообразную информацию о нагрузке на сеть, использовании электрических устройств и привычках потребителей. Например, AI может выделить различия между людьми, предпочитающими работать ночью и рано вставать, и сделать выводы о времени наибольшего потребления электроэнергии и передовать эти данные энергетическим компаниям. Таким образом, применение AI в электроэнергетике обещает снизить затраты, увеличить продуктивность и оптимизировать работу между энергосистемой и потребителями.

AI-алгоритм Athena от организации Stem, предлагает метод для регулирования снабжением в данный момент с применением структур сохранения энергии. Athena собирает и анализирует данные о поведенческих действиях и создает вероятность действий зарядки и разрядки энергии на базе этих данных. Исходя из этого, это решение дает возможность оптимизировать расход энергии и росту продуктивности ее применения.

И напоследок, заключительный сектор включает в себя применение ИИ в единой структуре бизнеса. В границах этого сектора искусственного интеллекта используется для роста действенности стандартного оборудования, такого как производственное и энергетическое, подмены плановых устранения повреждений на предиктивное обслуживание, а также для регулирования спросом на электроэнергию и, в общем на материалы организаций, которые становятся более распределенными.

Также высокий компьютерный разум способен применяться для площадок по управлению спросом и распределенными ресурсами. Сеть, подготовленная отвечать на стоимостные и производственные потоки данных, может взять на себя операторские задачи и реализовывать действенное регулирование системы организации или местного ряда производств. Самобалансирование малого электропо-

требления в промышленных кластерах является важной концепцией становления энергетических комплексов в РФ, которые бурно пропагандируются в границах национальной технологической активности. Использовать искусственный интеллект, в будущем будет сложнее в «больших» энергосистемах. Учитывая быстрое усложнение структур энергосистем и рост числа активных объектов в энергосистеме, диспетчерам вскоре потребуется помощь AI-систем для обеспечения баланса в энергосистеме. Только AI способен первоклассно подвергать обработке объем данных, направленных к операторам, и на базе этой информации предлагать и достигать качественного ответа о наиболее эффективных режимах деятельности энергосистемы.

## **Вывод**

Перечисленные секторы развития взаимодействия искусственного мозга в электроэнергетике не просто снижают, а вместе с энергетическими методиками готовы уменьшить зависимость жизни от энергетических комплексов. Наличие сети и свободных мощностей перестает быть лимитировано для разработки новых районов и совершенствования уже имеющихся городских территорий. Новая микросеть, готовая регулировать приборы в порядке самобалансирования, может совершенствоваться как изолированно, так и придать значительную перегруженную сеть новыми опциями. Энергоисточник, такой как солнечная панель, со структурой сохранения, может бесконтрольно регулировать удобный и успешный режим электроснабжения дома, без внешнего влияния. Аналогичным методом, более большие энергообъекты с использованием ИИ могут сделать энергоснабжение более действенным. Для этого необходимо оснастить оборудование нужными датчиками и подключить его к интернет-структуре. Действия структур машинного обучения, что является ключевой составляющей ИИ, легко реализуется благодаря облачным методам. В свою очередь, уменьшение ненужных вершин потребления благодаря протоколам ИИ создает существенно уменьшить затраты на электричество и расходы энергетических организации на строительство и обслуживание незагруженных мощностей.

Современный образ обмена электроэнергией является чрезвычайно гибким и интересным, но так как он в существенной мере зависит от совершенствования и защиты информационно-технологических решений, актуальная сложность электроэнергетики, которая ранее состояла основным образом из технических целей, таких как уменьшение затрат на ресурсы или сетевые потери, теперь пополняется задачами информационной защиты.

Безопасность данных в энергетической отрасли содержит огромный перечень задач – от защиты персональной информации до предотвращения хакерских нападений на ключевые инфраструктуры. Актуальные инструменты, такие как блокчейн и ИИ, способны сыграть важную роль в создании безопасных энергоструктур. Они способны помочь в конструировании прозрачных и безлопастных структур, которые снижают вероятность утечек информации и незаконного доступа.

В этом смысле, структуры регулирования энергией обязаны подстраиваться к изменениям, происходящим в секторе технологий и управлять материалами не только с учетом экономических, но и информационных факторов. Все это нуждается в качественной слаженной работе между специалистами по киберзащите и регулирующими структурами. Согласованные действия этих специалистов станут залогом устойчивого и безопасного будущего электроэнергетики.

## **Список использованных источников**

1. Перспективы применения нейронных сетей в энергетике / В.Л. Лучинкин, Р.С. Зарипова // Технологический суверенитет и цифровая трансформация : Международная научно-техническая конференция, Казань, 5 апреля 2023 года. – Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 77–80.
2. Угрозы и риски цифровой экономики на секторальном уровне / В.Б. Криштаносов // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. – 2022. – № 1 (256). – С. 28–52. – DOI 10.52065/2520-6877-2022-256-1-28-52.
3. Правовое обеспечение национальной безопасности Российской Федерации в сфере энергетики / Н.И. Махонько, Ю.А. Плотникова, Е.А. Тарасова // Безопасность в современном мире : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Волгоград, 17 февраля 2021 года / Отв. редактор С.А. Бондарева. Том Часть 2. – Волгоградский институт управления - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», 2021. – С. 276–282.



## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ КАДРАМИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ

*Буглаев Т.А.<sup>2</sup>, Буглаев А.В.<sup>1</sup>, Смелцова К.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>АО «Транснефть – Дружба», ул. Уральская, 113, 241020, Брянск, Россия, alexgar1@yandex.ru

<sup>2</sup>Брянский государственный технический университет, бул. 50-лет Октября, 7, 241035, Брянск, Россия, timaga111@yandex.ru

### **Введение**

Эффективность функционирования и управления организацией зависит от качества организации процесса реализации кадровой политики предприятия. Кадровая политика организации представляет собой комплекс мер, направленных на принятие обоснованных кадровых решений, обеспечивающих непрерывность ключевых процессов, связанных с подбором и расстановкой персонала, повышением квалификации сотрудников и оптимизацией численности штата. Эти процессы неразрывно связаны с решением задач, стоящих перед организацией в контексте обеспечения качества и эффективности выполнения работ и оказания услуг, а также поддержания необходимого уровня профессиональной подготовки персонала. Исходя из сказанного, «для принятия тех или иных решений в части управления кадрами руководство организации должно располагать информацией о технологических процессах, из которых вытекают требования к персоналу в части профессионального уровня, а также иметь оценку уровня подготовки персонала в свете этих требований. Кроме этого, для принятия решений по кадровой политике необходимо принимать во внимание требования профессиональных стандартов, уровень знаний сотрудников, личные качества» [1,2].

Эффективность управления деятельностью любой организации напрямую зависит от качества построения его кадровой политики, умения руководства принимать оперативные, свободные от субъективных оценок кадровые решения [3].

Применение нейросети в оптимизации управления кадровыми процессами в организации может служить в качестве вспомогательного инструмента для принятия решений, способствуя повышению их качества. Это, в свою очередь, позволяет эффективно обрабатывать большие объемы данных, что приводит к уменьшению времени, затрачиваемого на принятие решений, и способствует достижению лучших результатов., способствует «повышению эффективности процессов планирования, прогнозирования и принятия управленческих решений, оптимизации процессов подбора и обучения кадров, составления оптимального графика работы сотрудников с учетом различных факторов» [4]. Одной из важнейших задач по управлению кадровой работой является принятие решения о соответствии кандидата на предполагаемое место/должность работы критериям профессионального стандарта по направлению деятельности. В данном исследовании поставлена задача определения возможности применения нейросети, на основе критериев профессионального стандарта «Специалист по эксплуатации автоматизированных систем управления технологическими процессами в нефтегазовой отрасли» [5] рассмотрен процесс постановки анализа резюме на основе нейросети.

### **Описание алгоритма**

В современном мире активно развивается направление, связанное с исследованием и применением нейросетей. Вместе с развитием этого направления продвигаются и сами модели нейросетей. Текстовая модель нейросети, также известная как языковая модель, представляет собой алгоритм машинного обучения, который обучается анализировать и понимать текстовые данные. Данные модели обучаются на больших объемах текста с целью прогнозирования следующего слова или символа в последовательности. Эти модели обладают способностью понимать грамматику, синтаксис и семантику текста, генерировать качественные текстовые данные, что позволило провести исследование методом постановки задач нейросети и анализа ответов.

Применение нейронных сетей в сфере профессиональных стандартов может быть разнообразным. Например, они могут использоваться для автоматизации процесса анализа качества выполняемой работы в соответствии с установленными стандартами. Нейросети способны быстро обрабатывать большие объемы информации, выявлять отклонения от стандартов и предлагать рекомендации по их устранению.

В рамках текущего исследования была задействована предварительно обученная модель нейронной сети GPT-3.5 для решения поставленной задачи, поскольку разработка собственной текстовой нейросети отнимает значительное количество времени и усилий. Применение упомянутой модели не только позволяет решить вопрос о пригодности кандидата для трудоустройства в компанию, но также предоставляет возможность формулировать рекомендации на основе полученных результатов. Для проведения соответствующих экспериментов и оценки производительности нейросети был разработан специальный промпт, который был проверен на различных вариантах задач, с тем чтобы вычислить погрешность функционирования нейронной сети.

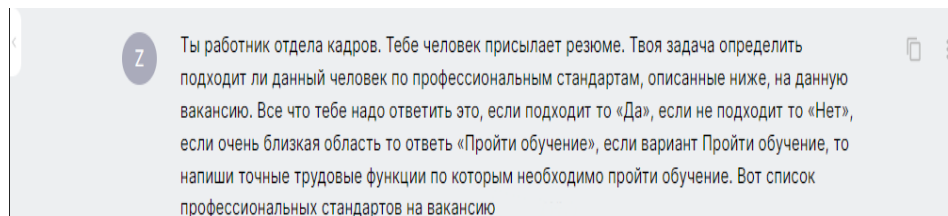


Рис. 1. Пример промпта

Промпт работает следующим образом:

1. Назначение нейронной сети определенной роли в рамках исследования.
2. Систематическое описание действий, которые выполняются нейронной сетью в контексте поставленных задач.
3. Установление ограничений на доступ к информации с целью повышения эффективности работы системы.
4. Передача нейронной сети наименования вакансии для выполнения специфических задач.
5. Привязка трудовых функций к указанному наименованию вакансии для точной интерпретации требований.
6. Передача нейронной сети резюме кандидата для анализа и принятия соответствующего решения (рис. 2).

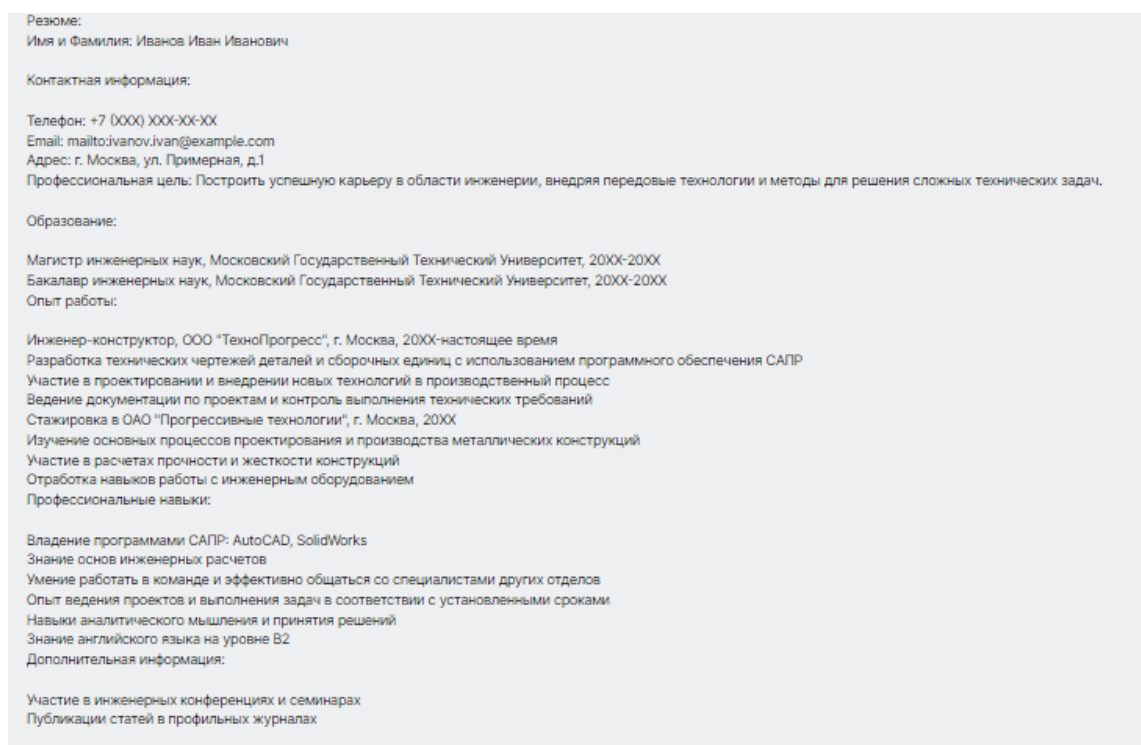


Рис. 2. Тестовое резюме

Так, у нейросети будут все необходимые данные, по которым она сможет сделать конкретный вывод и дать совет (рис. 3).

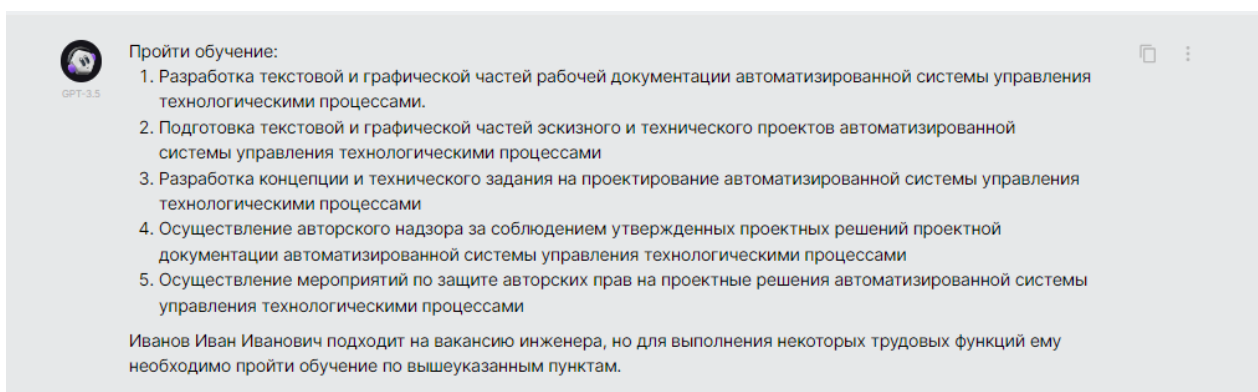


Рис. 3. Ответ нейросети

Имеется проблема с рекомендациями в связи с тем, что нейросеть не всегда способна выдавать верные рекомендации относительно конкретного индивида. В данном контексте нейросеть воспринимается как агрегатор множества различных оценок со стороны разных лиц, каждое из которых в свою очередь присваивает свою субъективную оценку потенциалу и качествам кандидата. Тем не менее, стоит отметить, что в контексте выявления соответствия критериям (подходит/не подходит) нейросеть демонстрирует высокую точность, так как она с высокой степенью достоверности производит отбор кандидатов исключительно в соответствии с заранее установленными параметрами. Наличие данной характеристики свидетельствует о высокой эффективности работы нейросети в контексте оценки кандидатов на предмет их пригодности для конкретной должности.

### Заключение

Результаты исследования показывают, что использование нейросетей, особенно текстовых моделей, в области принятия управленческих решений имеет большой потенциал. Нейросети могут быть эффективно задействованы для автоматизации процессов анализа и оценки соответствия кандидатов требованиям вакансии. При использовании предварительно обученных моделей, таких как GPT-3.5, можно существенно ускорить процесс принятия решений по подбору персонала.

### Список использованных источников

1. Процесс формирования кадрового состава предприятия специалистами по метрологии с учётом критериев нормативных документов РФ / А.В. Буглаев, Р.В. Камозин [и др.] // Русский инженер. – 2023. – № 4 (81). – С. 34–37. – EDN KYZKJC, С. 34.
2. Dadykin V.S. et al. Artificial intelligence based on ontology to support decision-making in personnel management // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Dushanbe, 2021. – Dushanbe, 2022. – P. 122510. – DOI 10.1117/12.2631305. – EDN UWUTCN, С. 2–3.
3. Асанов А.З. Решение некоторых кадровых задач на предприятии на основе информационных моделей профессиональных знаний специалистов и должностей / А.З.Асанов, И.Ю.Мышкина // Вестник УГАТУ: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2010. – Т. 14, № 4. – С. 185–193.
4. О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации: Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. – № 490. – С. 5–6.
5. Профессиональный стандарт №1 1425 «Специалист по эксплуатации автоматизированных систем управления технологическими процессами в нефтегазовой отрасли»: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 01.09.2021 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2021. – С. 10.
6. «Концепция развития технологий машиночитаемого права» (утв. Правительственной комиссией по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности, протокол от 15.09.2021 N 31). – С. 2–4.
7. Человек и системы искусственного интеллекта / В.А. Лекторский, С.Н. Васильев, В.Л. Макаров [и др.]. – Санкт-Петербург : Издательство «Юридический центр», 2022. – 328 с. – ISBN 978-5-94201-835-1. – EDN XSBHKY. С. 207
8. Human Rights and Artificial Intelligence in Electronic Healthcare Systems / N.V. Shakel, M.S. Ablameyko, Ja. Rabcan, E. Zaitseva // Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences. – 2022. – Vol. 15, No. 8. – P. 1179–1193. – DOI 10.17516/1997-1370-0920. – EDN AQEQUX. С. 1193.

## МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАССИВОВ ДАННЫХ В РАБОТЕ С КОНВЕЙЕРОМ

Валитов С.Р.<sup>1</sup>, Гаприндашвили И.Г.<sup>2</sup>, Пархоменко М.С.<sup>3</sup>, Шалыгина У.А.<sup>4</sup>, Лобода Ю.О.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ТУСУР, ФИТ, зр. 022, e-mail: salavat1valitov@gmail.com

<sup>2</sup>ТУСУР, ФИТ, зр. 022, e-mail: ilyaxovirs181203@mail.ru

<sup>3</sup>ТУСУР, ФИТ, зр. 022, e-mail: Parkhom1358@yandex.ru

<sup>4</sup>ТУСУР, ФИТ, зр. 022, e-mail: shalygina.ulya@mail.ru

<sup>5</sup>ТУСУР, ФИТ, к.н.н., доц., e-mail: lyo@2i.tusur.ru

### Введение

С каждым днем объем данных в производственных конвейерных системах растёт с большой скоростью и их нужно постоянно анализировать, что может потребовать изучению или созданию новых методов их обработки. Иногда использование классических алгоритмов может быть недостаточным для эффективности, если учитывать работу с большими данными. Однако машинное обучение дает нам возможность в повышении точности обработки и ускорении анализа этих данных, что помогает нам в работе конвейерных систем. Рассматривая различные модели машинного обучения в рамках проекта ГПО УИ-2302, необходимо определить наиболее подходящие для различных задач.

Конвейерная система – это последовательные этапы обработки данных, требующие анализа, которые задают основу на поступающих данных для принятия решений. Из-за этого появляется востребованность в машинном обучении, потому что это позволяет обеспечить бесперебойный процесс работы конвейера и точно обрабатывать данные.

### Основная часть

Основная цель – адаптация моделей машинного обучения для обработки массивов данных, которые поступают от конвейера для обеспечения оптимизации производственного процесса. Рассмотрим такие подходы, как:

- теория графов;
- регрессионная модель;
- классификационная модель.

Теория графов нужна для моделирования взаимосвязи между данными и элементами [1]. Этапы процесса конвейерной системы можно представить как узлы графа, связи – ребра (для описания зависимости приведен пример на рис. 1).

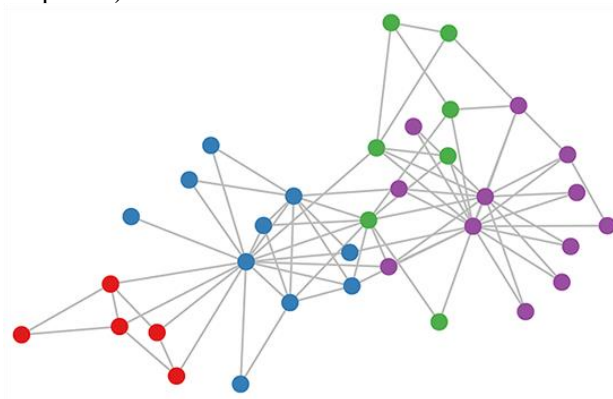


Рис. 1. Граф

### Преимущества:

- лучшее понимание взаимосвязи между этапами конвейера;
- применимы к анализу статических и динамических данных, что может помочь в наблюдении;
- возможность учитывать зависимости.

### Недостатки:

- большие графы потребляют больше ресурсов;
- может быть трудно масштабируемо для больших систем;
- нужда в создании более сложных алгоритмов, что требует более высокого уровня знаний.

Регрессионные модели применимы в прогнозировании числовых значений (пример: время поломки). Анализируя данные, поступающие с конвейера, модели могут быть применимы для параметров работы или временных рядов [4]. К регрессионным моделям относят линейные и логистические регрессии. На графиках представлены выборки, обозначенные синими точками, и регрессионные зависимости, обозначенные сплошными линиями. По оси абсцисс отложена свободная переменная, а по оси ординат — зависимая (пример приведен на рис. 2). Все три зависимости линейны относительно параметров [2].

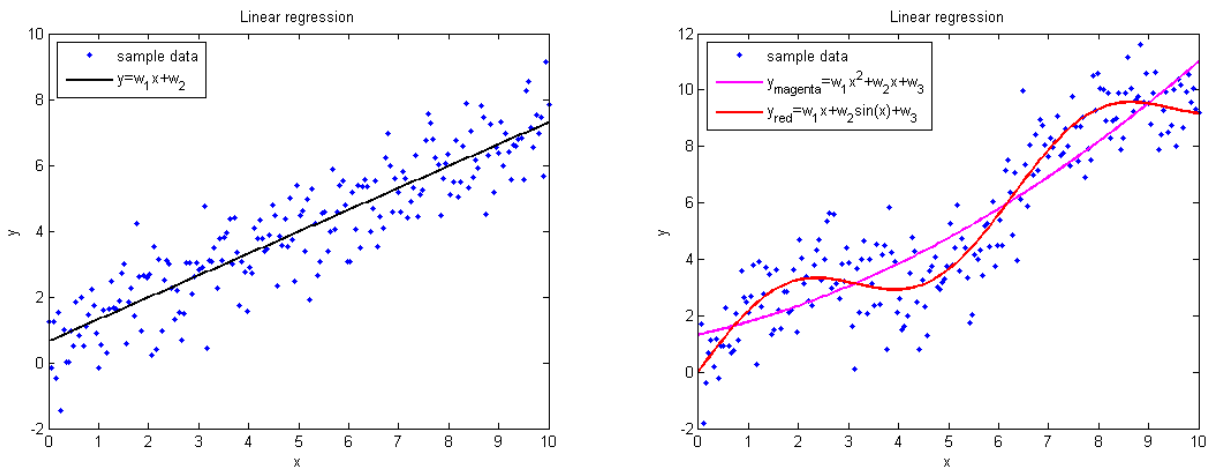


Рис. 2. Регрессионная зависимость

**Преимущества:**

- возможность легко объяснить зависимость между переменными;
- могут обучаться на изменениях в данных;
- хорошо справляются с предсказанием значений, что важно для оптимизации конвейерного процесса.

**Недостатки:**

- из-за работы с числовыми данными, модели могут иметь ограничения в их применении с категориями;
- могут плохо справляться с нелинейными зависимостями.

Классификационная модель применяется в определении состояний. Для конвейера это создает возможность предсказывать возможные сбои на основе процесса и его характеристик. Среди классификационных моделей можно выделить деревья принятия решений (пример модели на рисунке 4), метод k-ближайших соседей и наивный байесовский классификатор [3].

$$P(C_i | x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{P(x_1, x_2, \dots, x_n | C_i) \cdot P(C_i)}{P(x_1, x_2, \dots, x_n)} \text{ for } 1 < i < k$$

Рис. 3. Расчет наивного байесовского классификатора

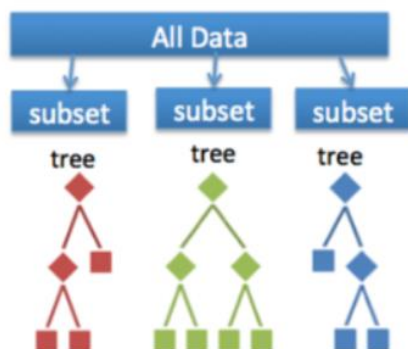


Рис. 4. Графическое изображение деревьев принятия решений

**Преимущества:**

- обеспечивает простую визуализацию;
- быстро обрабатывает большие объемы данных;
- хорошо справляются с многоклассовыми задачами.

**Недостатки:**

- модели могут переобучаться, если классы сильно разбалансированы;
- Плохо справляются с задачами, где нужен более детальный анализ сложных взаимосвязей.

Данные, которые поступают на конвейер, должны пройти обработку (очистка и нормализация).

После того, как данные прошли обработку, они передаются в модель обучения, которую выбрали, для анализа. Суть модели – классификация на всех этапах конвейера.

**Заключение**

Перспектива исследований может быть направлена на оптимизацию нейронных сетей с целью обеспечения быстрого анализа и возможностью в применении гибридных моделей, которые могут дополнять своими преимуществами для обеспечения высокой производительности.

**Список использованных источников**

1. Циликос Н.С., Федосин С.А., «Графовые нейронные сети», Серия «Физико-математические науки» УДК 004.032.26, 2012.
2. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: исследование зависимостей. – М. : Финансы и статистика, 1985.
3. Журавлев Ю.И., Рязанов В.В., Сенько О.В. «Распознавание». Математические методы. Программная система. Практические применения. – М. : Фазис, 2006. ISBN 5-7036-0108-8.
4. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М. : Издательский дом «Вильямс», 2007.

# ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫМИ РИСКАМИ В НЕФИНАНСОВЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

*Востров В.А.<sup>1</sup>, Гавриленко Т.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Сургутский филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», г. Сургут, Российская Федерация, e-mail: valeriy-v-mail@mail.ru*

<sup>2</sup> *Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация, политехнический институт, доцент, e-mail: taras.gavrilenko@gmail.com*

## **Введение**

В последнее время управление финансовыми рисками с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ) получило широкое распространение в финансовых организациях. Технологии ИИ применяемые в данном направлении включают в себя компьютерное зрение, обработку естественного языка, распознавание речи, интеллектуальную поддержку принятия решений и другие. Учитывая способность ИИ автоматизировать процессы и облегчать принятие сложных решений, особенно при работе с большими массивами данных, финансовый сектор, накапливающий значительные объемы информации и для которого скорость и качество принимаемых решений имеют определяющее значение, активно внедряет технологии ИИ в свою работу.

Банки, как флагманы финансового сектора, обладающие высокооплачиваемыми специалистами и активно продвигающие новейшие технологические решения, уже довольно широко применяют модели ИИ для оценки заемщиков, общения с клиентами в чатах и по телефону, прогнозирования рыночных тенденций, торговли на финансовых рынках, интеллектуального скоринга, определения кредитного риска [1].

При этом нефинансовым компаниям также характерны финансовые риски. Стремительное развитие технологий, возрастающее значение скорости обработки информации, распространение цифровых данных, внедрение цифровых валют и растущие объемы применения смарт-контрактов требуют соответствующих обновлений в системах управления рисками, в том числе и от нефинансовых организаций. Принимая во внимание имеющиеся практики применения ИИ в финансовом секторе, очевидно наличие большого потенциала внедрения подобных моделей в бизнес-процессы нефинансовых организаций. Однако, качество функционирования моделей ИИ находится в прямой зависимости в том числе от точности соответствия обучающих данных условиям конкретной задачи, для которой разрабатываются модели [2]. В этой связи такое направление как управление финансовыми рисками нефинансовых компаний требует своих специфических разработок, отличающихся от подходов при создании моделей ИИ для управления рисками, например, в банковском деле.

Таким образом, разработка интеллектуальных моделей для управления финансовыми рисками в нефинансовых организациях является на сегодняшний день актуальной задачей.

## **Основная часть**

Обобщенно механизм функционирования модели ИИ на основе глубокого обучения, например, по прогнозированию и оценке риска дефолта компаний, который включает в себя несколько основных этапов, можно представить в следующем виде.

Для обучения модели необходимо большое количества данных о финансовом состоянии компаний и внешних рыночных условиях, к которым относятся: финансовые данные - отчеты о прибылях и убытках, балансовые отчеты и отчеты о движении денежных средств; рыночные данные - цены на финансовые активы, доходность облигаций и другие рыночные показатели; макроэкономические данные - динамика ВВП, процентные ставки и отраслевые тенденции.

Перед подачей данных в модель их требуется обработать, удалив ошибки и несоответствия. Затем, после их масштабирования, необходимо определить какие части данных (или «признаки») наиболее релевантны для прогнозирования риска дефолта.

В процессе обучения модель обрабатывает данные с помощью слоев искусственных нейронов, выявляя закономерности, коррелирующие с риском дефолта. На основе исторических примеров компаний, допустивших и не допустивших дефолт, модель учится различать эти два сценария, корректируя свои параметры для повышения точности.

Затем обученная модель получает новые данные и обрабатывает их с помощью нейронной сети выдавая прогноз риска дефолта в виде вероятности.

При этом необходимо постоянно обновлять модель новыми данными для адаптации к меняющимся условиям рынка, что должно помочь ей изучить новые закономерности в целях поддержания необходимой точности прогноза.

Кроме того, весьма перспективным представляется применение моделей ИИ для управления финансовыми рисками на основе косвенных факторов, которые не имеют отражения в традиционной методологии финансового риск-менеджмента.

Для этих целей модели ИИ могут использовать различные нетрадиционные источники данных, например, анализ публикаций в социальных сетях для оценки настроений на рынке и их потенциального влияния на рыночные тренды; отслеживание состояния цепочек поставок и их сбоев (спутниковый мониторинг трафика, загрузки в портах и т.п.) в качестве индикаторов экономической стабильности или подверженности рискам; отслеживание глобальных новостей для выявления возникающих рисков, которые могут не сразу отражаться в финансовых отчетах (геополитические риски) [3].

Также модели ИИ, особенно использующие машинное обучение, могут обладать возможностями выявления закономерностей в сложных массивах данных, таких как биржевая информация, в которой возможно распознавание указывающих на риск аномалий в сделках.

Помимо указанного, следует отметить возможность проведения моделями ИИ непрерывного анализа в режиме реального времени, которая может стать одним из важнейших параметров управления рисками.

Использование моделями ИИ альтернативных данных для прогнозирования тенденций, которые не сразу проявляются в исторических данных, а также сочетание традиционных и нетрадиционных данных позволит получить более целостное представление о рисках.

## **Заключение**

Учитывая гипотезу о наличии связи между информационными потоками, не имеющими очевидного непосредственного воздействия на активы, но косвенно оказывающими значительное влияние на их динамику, которая не учитывается в традиционном риск-менеджменте, но может быть использована для управления финансовыми рисками на основе ИИ, метод использования модели нейронной сети может быть эффективным инструментом для оценки вероятности достоверности информационного потока в режиме реального времени и прогнозирования его влияния на динамику цен на финансовые активы.

Такими образом интеллектуальная модель для финансового риск-менеджмента может использоваться как для выявления и оценки рисков контрагентов, так и в целях формирования оптимальных параметров риск/доходность инвестиционных портфелей для нефинансовых организаций.

## **Список использованных источников**

1. The Use of Artificial Intelligence Technologies in the Financial Market. The Main Conclusions. Ассоциация ФинТех. – 2023. – 15 с. – URL: <https://www.fintechru.org/analytics/issledovanie-primenenie-tekhnologiy-iskusstvennogo-intellekta-na-finansovom-rynke/>.

2. Перспективная программа стандартизации по приоритетному направлению «Искусственный интеллект» на период 2021-2024 годы. Министерство экономического развития Российской Федерации. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/28a4b183b4aee34051e85ddb3da87625/20201222.pdf>

3. Применение искусственного интеллекта на финансовом рынке. Доклад для общественных консультаций / Центральный банк Российской Федерации. М.; 2023. – 51 с. – URL: [https://cbr.ru/Content/Document/File/156061/Consultation\\_Paper\\_03112023.pdf](https://cbr.ru/Content/Document/File/156061/Consultation_Paper_03112023.pdf).



# МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ СМЫСЛОВОЙ НАГРУЗКИ ТЕКСТОВ С ЭЛЕМЕНТАМИ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ

*Голубев Р.О., Мамонова Т.Е.  
ТПУ, группа: А4-36, 1 курс, rog3@tpu.ru  
Доцент ОИС ИШИиЭС ТПУ, stepte@tpu.ru*

## **Введение**

Современные технологии обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP) активно развиваются и находят применение в самых различных областях – от анализа социальных медиа до автоматизированных систем поддержки клиентов. Одной из ключевых задач, стоящих перед NLP, является распознавание смысловой нагрузки текстов, особенно когда они содержат элементы неоднозначности. В этой статье будут рассмотрены основные методы и подходы, позволяющие справляться с подобными задачами.

## **Понятие смысловой нагрузки и неоднозначности**

Одним из ключевых свойств человеческого языка является произвольность, то есть возможность разной трактовки сказанного в зависимости от контекста – узкого или широкого [1].

Эта возможность различных трактовок, то есть неоднозначность, присутствует на всех языковых уровнях, и именно в ее широком распространении и состоит одно из важных отличий естественного языка от искусственных семантических систем [2].

Факт существования у некоторой единицы более одного значения обозначается наиболее широким термином – «многозначность» (которая противопоставляется омонимии, предполагающей звуковое и графическое совпадение различных языковых единиц, значения которых не связаны друг с другом). Наличие же у языкового выражения нескольких различных смыслов одновременно предлагается обозначать термином «неоднозначность». [3].

## **Методы распознавания смысловой нагрузки**

### **1. Нейронные сети и глубокое обучение.**

Рекуррентная нейронная сеть (Recurrent Neural Network, RNN) – популярный вид нейронных сетей, используемых в обработке естественного языка (NLP). Рекуррентная нейросеть оценивает произвольные предложения на основе того, насколько часто они встречались в текстах. Это даёт меру грамматической и семантической корректности, что позволяет использовать такие модели для перевода текстов [4]. Они могут учитывать контекст слов в тексте, что особенно важно для обработки неоднозначностей.

### **2. Структура нейросети.**

Сети с многослойными перцептронами (MLP) или радиальными базовыми функциями (RBF) зависят от предикторов (называемых также входными или независимыми переменными), которые минимизируют погрешность переменных назначения (их называют также выходными переменными) [5].

На рис.1 представлена архитектура прямой связи, соединения в сети направлены прямо от входного слоя на выходной слой без контуров обратной связи. На данном рисунке [5]:

#### **1. Входной слой содержит предикторы.**

2. Скрытый слой содержит ненаблюдаемые узлы, или нейроны. Значение каждого скрытого нейрона – это некоторая функция предикторов; точная форма этой функции частично зависит от типа сети, а частично - от управляемых пользователем спецификаций.

3. Выходной слой содержит отклики. Каждый выходной нейрон - это некоторая функция скрытых нейронов. Точная форма этой функции также частично зависит от типа сети, а частично – от управляемых пользователем спецификаций [5].

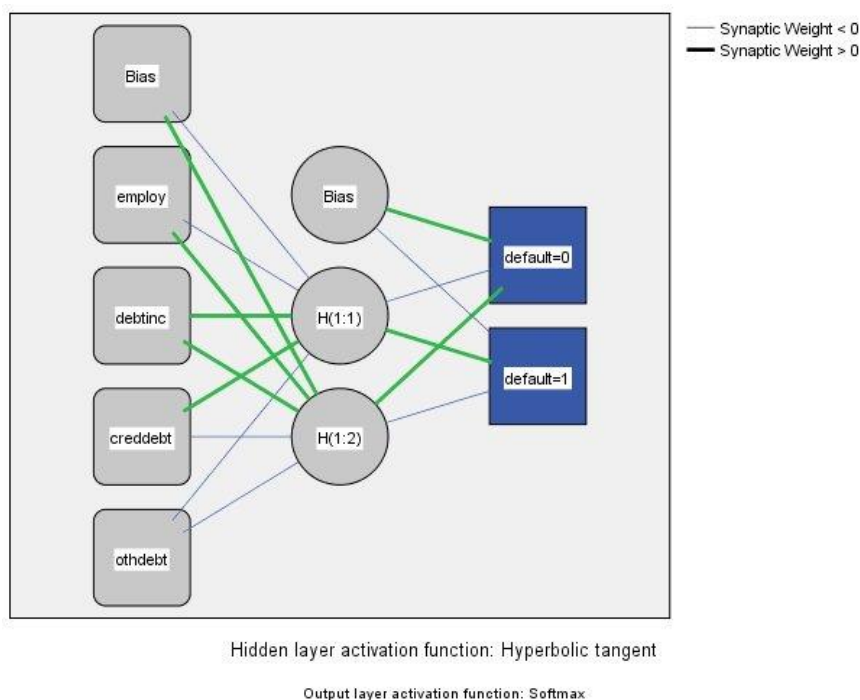


Рис. 1. Структура прямой связи с одним скрытым слоем

BERT (англ. Bidirectional Encoder Representations from Transformers) – языковая модель, предназначенная для предобучения языковых представлений с целью их последующего применения в широком спектре задач обработки естественного языка. BERT представляет собой нейронную сеть, основу которой составляет композиция кодировщиков трансформера. BERT является автокодировщиком. В каждом слое кодировщика применяется двустороннее внимание, что позволяет модели учитывать контекст с обеих сторон от рассматриваемого токена, а значит, точнее определять значения токенов [6].

Трансформер BERT обладает способностью к контекстуализации слов, позволяя лучше справляться с многозначностью. Он позволяет учитывать окружение слова, что позволяет различать его значения в зависимости от контекста.

### Структура BERT

При подаче текста на вход сети сначала выполняется его токенизация. Токенами служат слова, доступные в словаре, или их составные части — если слово отсутствует в словаре, оно разбивается на части, которые в словаре присутствуют (рис. 2)



Рис. 2. Представление входных данных модели

В самой нейронной сети токены кодируются своими векторными представлениями (англ. embeddings), а именно, соединяются представления самого токена (предобученные), номера его предложения, а также позиции токена внутри своего предложения. Входные данные поступают на вход и обрабатываются сетью параллельно, а не последовательно, но информация о взаимном расположении слов в исходном предложении сохраняется, будучи включённой в позиционную часть эмбединга соответствующего токена [6].

Выходной слой основной сети имеет следующий вид: поле, отвечающее за ответ в задаче предсказания следующего предложения, а также токены в количестве, равном входному. Обратное преобразование токенов в вероятностное распределение слов осуществляется полносвязным слоем с количеством нейронов, равным числу токенов в исходном словаре [6].

### **Контекстуальное векторное представление**

Векторное представление слов (англ. word embedding) – общее название для различных подходов к моделированию языка и обучению представлений в обработке естественного языка, направленных на сопоставление словам из некоторого словаря векторов небольшой размерности [7].

word2vec – способ построения сжатого пространства векторов слов, использующий нейронные сети. Принимает на вход большой текстовый корпус и сопоставляет каждому слову вектор. Сначала он создаёт словарь, а затем вычисляет векторное представление слов. Недостатком word2vec является то, что с его помощью не могут быть представлены слова, не встречающиеся в обучающей выборке [7].

fastText решает эту проблему с помощью NN-грамм символов. Например, 33-граммами для слова «яблоко» являются «ябл», «бло», «лок», «око». Модель fastText строит векторные представления NN-грамм, а векторным представлением слова является сумма векторных представлений всех его NN-грамм. Части слов с большой вероятностью встречаются и в других словах, что позволяет выдавать векторные представления и для редких слов [7].

Использование данных методов, таких как word embeddings позволяет создать векторные представления слов, учитывающие их семантическую схожесть. Это помогает в различии значений многозначных слов в зависимости от контекста.

### **Семантический анализ и расширенные алгоритмы**

Семантический анализ – важная подзадача обработки естественного языка (Natural language processing, NLP), этап в последовательности действий алгоритма автоматического понимания текстов, заключающийся в выделении семантических отношений, формировании семантического представления текстов.

В общем случае семантическое представление является графом, семантической сетью, отражающей бинарные отношения между двумя узлами – смысловыми единицами текста. В ходе анализа текст проходит через несколько этапов обработки: токенизация для идентификации словоформ, морфологический, синтаксический анализ. Последним этапом идёт вторичный семантический анализ (первичный анализ в основном происходит параллельно морфологическому), в ходе которого устанавливаются взаимосвязи между сущностями, происходит извлечение мнений и анализ тональности текста. Основной целью анализа тональности является не только определение настроений, но также уровень объективности высказывания [8]. Методы семантического анализа, могут помочь в распознании значений слов и фраз. Эти подходы фокусируются на понимании отношений между различными элементами языка.

### **Анализ качества работы интеллектуальных систем (ИИС)**

Анализ качества работы интеллектуальных систем (ИИС) в области обработки текстов с неоднозначностью требует детального подхода, учитывающего различные настройки и методы. Неоднозначность может происходить из-за контекста, многозначности слов, грамматических структур и других факторов.

Основные направления и предложения для улучшения работы:

1. Понимание контекста.

Контекстуальные модели: использование современных языковых моделей, таких как BERT, GPT и других, которые способны учитывать контекст, в котором используется слово или фраза.

Очередность обработки: для многозначных слов рассмотрение предыдущих и последующих предложений или фраз для определения правильного значения.

2. Разметка и аннотирование данных. Обогащение данных: создание дополнительных примеров, в которых неоднозначные слова используются в различных контекстах.

3. Адаптация и дообучение. Машинное обучение с подкреплением: внедрение подходов машинного обучения, где система обучается на основе обратной связи пользователей, улучшая свои решения в контексте неоднозначности.

4. Непрерывная обратная связь. Оценка качества: внедрение метрик и тестов для оценки работы системы в условиях неоднозначности, таких как точность, полнота и F1-мера.

## Проблемы и вызовы

Несмотря на достижения в области обработки естественного языка, задачи распознавания смысловой нагрузки текстов с элементами неоднозначности остаются сложными. Основные проблемы включают:

1. Высокий уровень контекстуальной зависимости, особенно в разговорной речи. Значение слов и фраз может существенно варьироваться в зависимости от сценария, эмоциональной окраски и культурного контекста. Например, слово «блестящий» может означать «ярко сверкающий», но в другом контексте оно может означать «умный» или «выдающийся». Машине часто не хватает интуиции для распознавания таких нюансов, как наличие контекста, порой требующего глубоких культурных или социальных знаний.

2. Неполнота обучающих данных и ограниченная лексическая база, что может привести к недостаточной точности. Для обучения моделей машинного обучения необходимы качественные и разнообразные обучающие данные. Однако в реальности многие корпуса текстов имеют свои ограничения: они могут быть неполными, не учитывать редкие слова и фразы или не отражать все возможные контексты использования. Это создаёт пробелы в знаниях моделей, что приводит к ошибкам и снижению точности в распознавании смысловой нагрузки.

3. Культурные и языковые различия, влияющие на интерпретацию текста. Язык – это нечто большее, чем просто набор правил и слов; он является отражением культуры и социальных норм. Модели, обученные на данных, относящихся к одной культуре, могут сталкиваться с трудностями при работе с текстами, генерируемыми в другой культурной среде. Например, идиоматические выражения, сленг и фразеологии могут не быть понятны без понимания культурного контекста, что представляет значительную сложность для моделей.

## Заключение

Задачи распознавания смысловой нагрузки текстов с элементами неоднозначности многообразны и требуют комплексного подхода для их решения. Методы распознавания смысловой нагрузки текстов с элементами неоднозначности развиваются вместе с технологией обработки естественного языка. Нейронные сети, контекстуальные представления слов и правила семантического анализа становятся важными инструментами для решения этой задачи. Однако перед исследователями и разработчиками всё ещё стоят значительные вызовы, требующие дальнейших исследований и экспериментов. Интеграция различных подходов и методов, поможет достичь более высоких результатов в распознавании и интерпретации текстов в будущем.

## Список использованных источников

1. Черниговская Т.В. Чеширская улыбка кота Шредингера: язык и сознание. / Т.В. Черниговская. – М. : Языки славянской культуры, 2013. – 448 с.
2. Маслов Ю.С. Омонимы в словарях и омонимия в языке (к постановке вопроса) / Ю.С. Маслов // Вопросы теории и истории языка: сб. в честь проф. Б.А. Ларина. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1963. – С. 198–202.
3. Зализняк А.А. Феномен многозначности и способы его описания. / А. А. Зализняк // Вопросы языкознания. – 2004. – № 2. – С. 20–45.
4. Рекуррентная нейронная сеть (RNN): виды, обучение, примеры: : сайт. – 2024. – URL: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/rekurrentnye-nejronnye-seti/> (дата обращения 22.10.2024).
5. Структура нейросети - IBM Documentation: сайт. – 2024. – URL: <https://www.ibm.com/docs/ru/spss-statistics/saas?topic=networks-neural-network-structure> (дата обращения 22.10.2024).
6. BERT (языковая модель) – Викиконспекты: сайт. – 2024. – URL: <https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=BERT> (дата обращения 22.10.2024).
7. Векторное представление слов – Викиконспекты: сайт. – 2024. – URL: <https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=> (дата обращения 22.10.2024)
8. Семантический анализ для автоматической обработки естественного языка — Научно-технический центр ФГУП "ГРЧЦ" (НТЦ): сайт. – 2024. – URL: [https://rdc.grfc.ru/2021/09/semantic\\_analysis/](https://rdc.grfc.ru/2021/09/semantic_analysis/) (дата обращения 22.10.2024).

# ПРИМЕНЕНИЕ СВЁРТЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ СЧИТЫВАНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТИЛЯ WEB-СТРАНИЦЫ

Григорьев А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ, г. Санкт-Петербург, godfrua2500@yandex.ru

## Введение

Целью данной работы является достижение достаточной точности определения визуальных параметров стиля web-страницы свёрточной нейронной сетью на примере искусственно сгенерированной подборки обучающей выборки.

## Описание работы свёрточной нейронной сети

На сегодняшний день существует достаточно большое количество видов нейронных сетей, каждая из которых работает для решения определённой задачи. Например, свёрточная нейронная сеть используется для работы с изображениями в задачах сравнения, распознавания, сортировки изображений.

Использование свёрточной нейронной сети целесообразно, так как в уже существующих реализациях задачи считывания визуальных параметров они используются в комбинации с рекуррентными нейронными сетями и другими составными конструкциями. Вариация используемой структуры нейронной сети представлена на рис. 1.

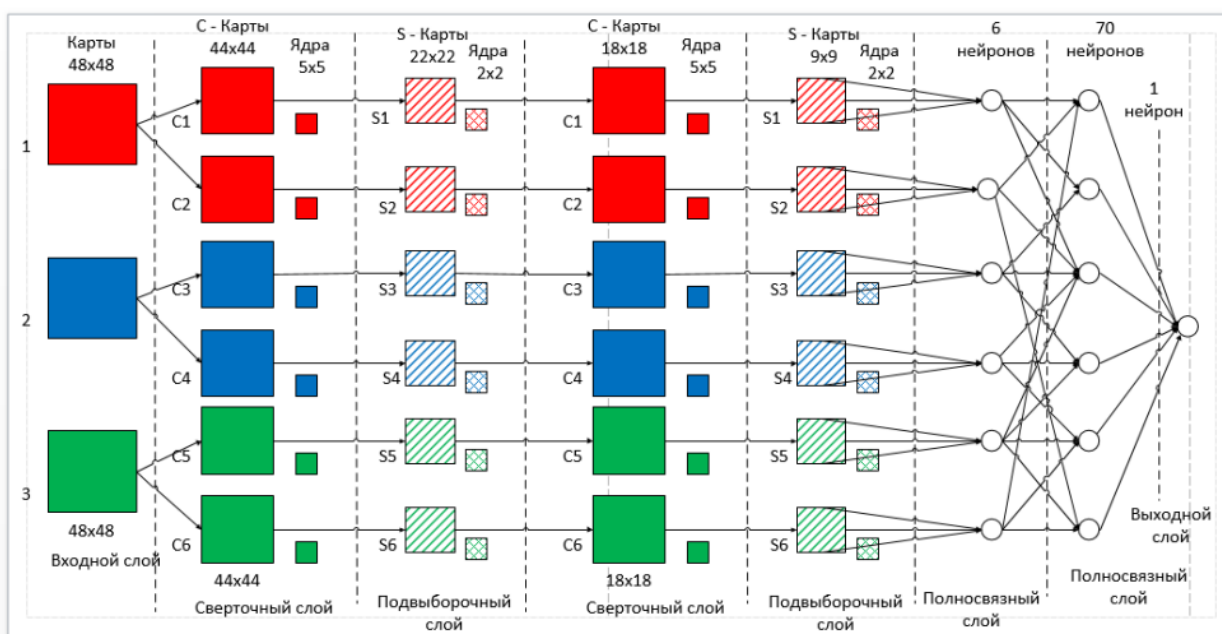


Рис. 1. Визуальное представление структуры нейронной сети

Свёрточная нейронная сеть, которая используется для считывания визуальных параметров является многослойной сетью прямого распространения, содержащей внутри себя на последних слоях скрытые полносвязные слои.

Данная формулировка означает, что сеть имеет, кроме входного и выходного слоёв, скрытые слои, сигнал передаётся поэтапно строго от входного слоя к выходному, и обратном направлении сигнал не распространяется. Для свёрточной нейронной сети можно выделить три основных типа слоёв.

Первый тип – слой свёртки. Это, основной блок свёрточной нейронной сети. В свёрточной нейронной сети в операции свёртки используется лишь ограниченная матрица весов небольшого размера, которую «двигают» по всему обрабатываемому слою (в самом начале – непосредственно по входному изображению), формируя после каждого сдвига сигнал активации для нейрона следующего слоя с аналогичной позицией. Этот самый фильтр называется ядром свёртки. Слой свёртки включает в

себя для каждого канала свой фильтр, ядро свёртки которого обрабатывает предыдущий слой по фрагментам (суммируя результаты поэлементного произведения для каждого фрагмента). Особенностью свёрточного слоя является сравнительно небольшое количество параметров, устанавливаемое при обучении. Так например, если исходное изображение имеет размерность  $100 \times 100$  пикселей по трём каналам (это значит 30000 входных нейронов), а свёрточный слой использует фильтры с ядром  $3 \times 3$  пикселя с выходом на 6 каналов, тогда в процессе обучения определяется только 9 весов ядра, однако по всем сочетаниям каналов, то есть  $9 \times 3 \times 6 = 162$ , в таком случае данный слой требует нахождения только 162 параметров, что существенно меньше количества искомым параметров полносвязной нейронной сети.

Второй тип, который характерен не только для свёрточной нейронной сети, – слой активации. В данном слое скалярный результат каждой свёртки попадает на функцию активации, которая представляет собой некую нелинейную функцию. Слой активации обычно логически объединяют со слоем свёртки.

Третий тип – слой пулинга (иначе подвыборки, субдискретизации). Данный слой представляет собой нелинейное уплотнение карты признаков, при этом группа пикселей (обычно размера  $2 \times 2$ ) уплотняется до одного пикселя, проходя нелинейное преобразование. Наиболее употребительна при этом функция максимума. То есть в группе пикселей  $2 \times 2$  выбирается одно из четырёх значений превышающее все другие и данная группа сжимается до одного это максимального значения. В дополнение к предыдущим слоям в заключительных слоях свёрточной нейронной сети использует полносвязные слои.

Обобщив вышесказанное можно заключить, что свёрточная нейронная сеть работает с форматированным изображением, постепенно сжимая и упрощая его, чтобы выделить из него определённые отличительные признаки.

Сама нейронная сеть работает по следующему принципу. На входной слой подаётся изображение из обучающей выборки. Так как нейронная сеть работает только с числами, то обучающая выборка должна представлять собой строку или массив с числами от 0 до 1. В нашем случае 23 необходимо работать с 10-ю цветными RGB картинок  $320 \times 240$ , следовательно обучающая выборка будет выглядеть, как 4-мерный массив формата [кол-во картинок, высота картинка, ширина картинка, количество каналов], то есть [10000, 320, 240, 3] где «количество каналов» для цветной картинка равно 3, то есть red, green и blue. Внутри массива будут нормированные значения цветов, то есть делённые на 255 (т.к. спектр изменения цветов находится от 0 до 255).

Следующий слой, слой пулинга. В нём выбирается максимальное значение одного из пикселей внутри фильтра. Исходя из изложенного выше принципа работы слоя пулинга, можно сделать вывод о том, что картинка после этого слоя будет сжата в некоторое количество раз, в зависимости от шага перемещения фильтра.

На третьем слое происходит ещё одна свёртка, но с большим количеством фильтров и увеличенным ядром.

На четвёртом слое изображение ещё раз сжимается в два раза и подаётся на последний свёрточный слой.

После свёрточной части свёрточной нейронной сети используется слой flatten. Как было сказано ранее свёрточная нейронная сеть работает фильтрами, то есть небольшими матрицами, внутри которых значения весовых коэффициентов, потому что это намного эффективнее, когда речь идёт об обработке массива. Для того, чтобы обучить сеть необходимо использовать полносвязный, слой, который на вход не может получить массив, а это значит, что необходимо выход из свёрточной части свёрточной нейронной сети преобразовать в вектор-столбец.

Для данной задачи было решено организовать именно такую структуру, потому что в ходе экспериментов она показала наиболее высокую точность и достаточно высокую скорость её достижения.

После обучения на сеть были поданы изображения для получения предсказаний параметров стиля. В ходе анализа при помощи слоёв свёртки будут сжаты и собраны наиболее выделяющиеся части изображений, при помощи подвыборочных слоёв будут отсортированы все выделяющиеся признаки и на полносвязных слоях будет произведён анализ сжатых данных, которые в дальнейшем будут декодированы и интерпретированы. Результаты сравнения 3-ёх изображений, полученных при работе нейронной сети представлены на рис. 2.



Рис. 2. Визуальное представление структуры нейронной сети

Рис. 2 показывает, что точность полученной нейронной сети позволяет довольно близко определять параметры исходного стиля изображения. Однако хоть параметры, полученные в ходе работы нейронной сети, определены достаточно близко к исходным, всё же имеются различия в цветовом наборе изображений.

На первой паре изображений можно заметить, что нижний левый блок исходного изображения имеет внутри себя текст, цвет которого ближе к белому, когда на изображении, полученном в ходе работы нейронной сети, на том же блоке цвет практически фиолетовый, что говорит о наличии некоторой погрешности, которая может привести к неверному прочтению параметров стиля побочных элементов.

В перспективе можно расширить обучающую выборку, несколько иначе настроить характеристики свёрточной нейронной сети, чтобы повысить точность определения параметров. Однако точность определения параметров стиля Web-страницы не является главной характеристикой исследования.

Визуально трудно определить характер изменения ошибки обучения в процессе обучения нейронной сети. Для подобной оценки необходимо построить график изменения ошибки обучения. Графики изменения точности и ошибки обучения сети представлены на рис. 3.



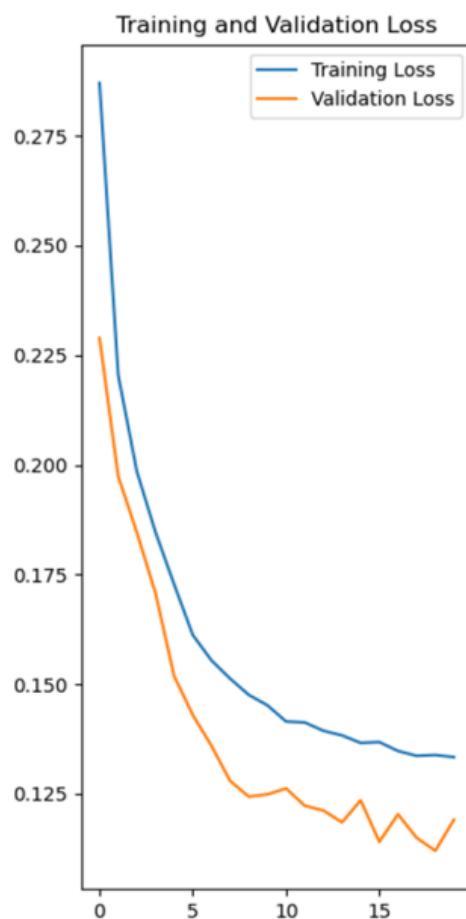


Рис. 3. График изменения ошибки обучения сети

Рассмотрим график изменения ошибки обучения. Ошибка обучения (Training loss) устойчиво убывает, а это является признаком того, что данная структура свёрточной нейронной сети подходит для считывания визуальных параметров.

### Заключение

В ходе работы была организована структура выбранной свёрточной нейронной сети, подготовлена обучающая выборка, сгенерированная при помощи программного кода и сформирован декодер выходных данных нейросети. Также были проанализированы результаты работы созданного алгоритма и удалось достичь необходимого характера изменения ошибки обучения. Поставленную цель можно считать достигнутой, так как наблюдается устойчивое снижение величины ошибки обучения.

### Список использованных источников

1. Tony Beltramelli Pix2code: generating code from a graphical user interface screenshot. UIzard Tech. Copenhagen, Denmark. 19.09.2017. – 9 с.
2. Милотин Илья: VGG16 – свёрточная сеть для выделения признаков изображений [Электронный ресурс] // Neurohive.io: информационный портал. 2018 URL:<https://neurohive.io/ru/vidy-nejrosetej/vgg16-model/>
3. selfedu: Свёрточные нейронные сети [Электронный ресурс] // YouTube.com: видеохостинг. 2006-2021 URL:<https://youtu.be/ceuntrdlhkk>.
4. Станислав Исаков: Как работает нейронная сеть: алгоритмы, обучение, функции активации и потери [Электронный ресурс] // Neurohive.io: информационный портал. – 2018. – URL: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/osnovy-nejronnyh-setej-algoritmy-obuchenie-funkcii-aktivacii-i-poteri/>.



# ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РАЗРАБОТКЕ И УПРАВЛЕНИИ ИГРОВЫМИ МИРАМИ

Гутаров В.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ, г. Санкт-Петербург, gutarov2003@gmail.com

## Введение

Искусственный интеллект играет ключевую роль в современной разработке видеоигр, предоставляя разработчикам мощные инструменты для создания более реалистичных и увлекательных игровых миров. С его помощью можно моделировать поведение неигровых персонажей, генерировать уникальные игровые пространства и адаптировать игровой процесс под индивидуальные предпочтения игроков. В этой статье мы рассмотрим основные методы и технологии ИИ, используемые в геймдеве, такие как деревья поведения, конечные автоматы и машинное обучение, а также обсудим их применение в создании процедурно генерируемого контента и адаптивных игровых систем, а также будущее применение и развитие технологии. Примеры успешного использования ИИ в современных видеоиграх демонстрируют огромный потенциал этих технологий для будущего индустрии, делая игры более интерактивными, реалистичными и захватывающими.

## Основная часть

Искусственный интеллект (ИИ) в видеоиграх используется для моделирования поведения неигровых персонажей (NPC), создания процедурно генерируемого контента и адаптации игрового процесса под индивидуальные предпочтения игроков. Рассмотрим каждый из этих аспектов более подробно с примерами.

Моделирование поведения NPC. Одним из ключевых элементов, делающих игровой мир живым и динамичным, является поведение NPC. Для этого разработчики используют различные методы, такие как деревья поведения, конечные автоматы и машинное обучение.

Деревья поведения представляют собой иерархическую структуру, где каждое «дерево» состоит из узлов, представляющих различные действия или условия. Эти узлы могут быть организованы в последовательности, циклы или ветвления, что позволяет NPC принимать решения на основе текущей ситуации в игре. Например, в игре «The Last of Us Part II» деревья поведения используются для создания сложного и реалистичного поведения врагов, которые реагируют на действия игрока, координируются между собой и адаптируются к изменяющимся условиям.

Конечные автоматы (Finite State Machines, FSM) (рис.1) представляют собой модели, в которых NPC могут находиться в одном из нескольких состояний и переходить между ними в зависимости от определенных условий. Каждое состояние определяет конкретное поведение NPC. Например, в игре «DOOM (2016)» конечные автоматы используются для управления поведением врагов, которые могут переключаться между состояниями патрулирования, атаки и поиска укрытия в зависимости от действий игрока.

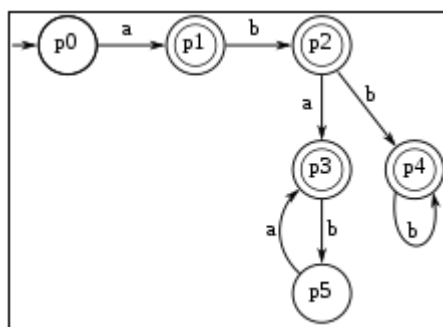


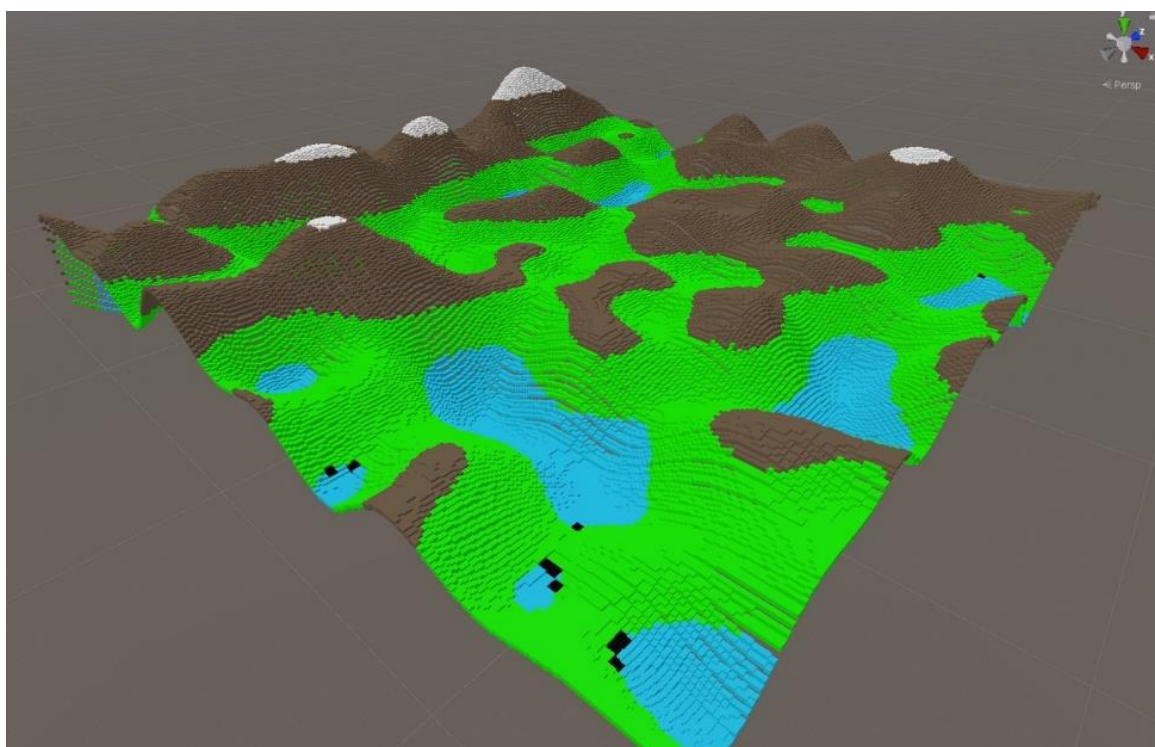
Рис. 1. Пример конечного автомата

Машинное обучение, особенно обучение с подкреплением, позволяет NPC обучаться на основе взаимодействий с игровым миром. В этом подходе NPC получают «награды» за выполнение определенных действий, что позволяет им постепенно улучшать свои стратегии. Например, в игре «F.E.A.R.»

используется обучение с подкреплением для создания врагов, которые могут адаптироваться к тактике игрока, делая каждую встречу уникальной и непредсказуемой.

**Процедурная генерация контента.** Процедурная генерация контента позволяет создавать уникальные игровые миры и уровни, что значительно увеличивает реиграбельность и разнообразие игр. Разработчики используют различные алгоритмы процедурной генерации, такие как клеточные автоматы, фракталы и шум Перлина. Клеточные автоматы представляют собой сетку, где каждая ячейка может находиться в одном из нескольких состояний. Состояние каждой ячейки обновляется на основе состояний соседних ячеек по определенным правилам. Например, в игре «Minecraft» клеточные автоматы используются для генерации пещерных систем и подземных структур.

Фракталы используются для создания сложных и реалистичных природных ландшафтов, таких как горы и леса. Фрактальные алгоритмы позволяют создавать детализированные и естественные формы на основе простых математических принципов. Например, в игре «No Man’s Sky» фракталы используются для генерации планетарных ландшафтов и растительности. Шум Перлина (Perlin noise) является алгоритмом, который генерирует плавные и естественные вариации значений, что позволяет создавать реалистичные текстуры и ландшафты. Этот метод широко используется для процедурной генерации террейнов и текстур в играх (рис. 2).



*Рис. 2. Генерация ландшафта с помощью шума Перлина*

**Адаптация игрового процесса.** Анализ поведения игроков и адаптация игрового процесса под их предпочтения позволяет создавать более персонализированные и увлекательные игровые опыты. Разработчики собирают и анализируют данные о поведении игроков, чтобы понять их предпочтения и адаптировать игру в реальном времени.

Например, в игре «Left 4 Dead» используется система ИИ-директора, которая анализирует действия игроков и динамически изменяет сложность игры, добавляя или убирая врагов, изменяя расположение предметов и регулируя интенсивность событий. Это позволяет поддерживать оптимальный уровень напряжения и интереса для каждого игрока.

## **Заключение**

В заключение, применение искусственного интеллекта в разработке и управлении игровыми мирами открывает новые горизонты для создания более реалистичных, динамичных и увлекательных игр.

ИИ позволяет разработчикам не только улучшать поведение неигровых персонажей (NPC), но и создавать процедурно генерируемый контент, который делает каждый игровой опыт уникальным. Методы моделирования поведения NPC, такие как деревья поведения, конечные автоматы и машинное обучение, позволяют создавать персонажей, которые могут адаптироваться к действиям игрока и изменяться в соответствии с условиями игрового мира. Это способствует более глубокому погружению и реалистичности игрового процесса. Внедрение социальных взаимодействий и эмоциональных моделей добавляет еще больше правдоподобности, делая NPC более живыми и динамичными.

Примеры успешного применения этих технологий в играх, таких как «The Last of Us Part II», «DOOM (2016)» и другие демонстрируют, как реалистичное и адаптивное поведение NPC может повысить уровень погружения и уникальности игрового процесса. Эти игры показывают, что искусственный интеллект становится важным инструментом для разработки инновационных игровых механик.

Будущее ИИ в игровой индустрии обещает значительные улучшения адаптивного ИИ, что приведет к более персонализированным и динамичным игровым опытам. Адаптивный ИИ позволит NPC и другие игровые элементы реагировать на действия и поведение игрока в реальном времени. Это приведет к персонализации игрового процесса, когда ИИ сможет анализировать стиль игры каждого игрока и адаптировать сложность, сюжетные линии и взаимодействия NPC в зависимости от предпочтений игрока. Реалистичные реакции NPC будут не только реагировать на действия игрока, но и предсказывать их, что сделает взаимодействия более правдоподобными и увлекательными.

С развитием технологий виртуальной и дополненной реальности, ИИ будет играть ключевую роль в создании более иммерсивных и интерактивных миров. Реалистичные виртуальные окружения, создаваемые ИИ, смогут изменяться в реальном времени, основываясь на действиях и предпочтениях игрока. NPC в виртуальной реальности будут обладать улучшенной способностью к взаимодействию с игроком, создавая более правдоподобные и захватывающие сценарии.

Процедурная генерация контента с использованием ИИ позволит создавать бесконечно разнообразные игровые миры и сценарии. ИИ будет генерировать уникальные ландшафты, задания и события, что сделает каждый игровой сеанс уникальным. Динамические квесты и сюжетные линии, создаваемые ИИ, будут адаптироваться к действиям и решениям игрока, обеспечивая нелинейный и более персонализированный игровой опыт.

Использование машинного обучения для развития ИИ откроет новые возможности для создания более сложных и интеллектуальных игровых систем. Самообучающиеся NPC смогут учиться на основе взаимодействий с игроками, становясь со временем более сложными и непредсказуемыми. ИИ будет анализировать огромные объемы данных, собранных во время игры, чтобы улучшать игровые механики и адаптировать их к предпочтениям игроков.

Квантовые вычисления имеют потенциал радикально изменить возможности ИИ в играх, обеспечивая вычислительные мощности, недоступные классическим компьютерам. Масштабируемая симуляция с использованием квантовых компьютеров сможет моделировать сложные системы и физические процессы в реальном времени, создавая более реалистичные и детализированные игровые миры. Квантовые алгоритмы могут значительно ускорить процессы обучения ИИ, позволяя создавать более интеллектуальные и адаптивные системы за короткое время.

### **Список использованных источников**

1. Нильсон Н. Искусственный интеллект. – Рипол Классик, 1973. – 270 с.
2. Буковшин В.А., Воскобойников С.Г. Интеллектуальные системы в компьютерных играх. Перспективы развития искусственного интеллекта в игровой индустрии // Современные материалы, техника и технологии. – 2017. – № 3 (11). – С. 21–36.
3. Кушнир Н.В. и др. Игровой искусственный интеллект // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2016. – № 2. – С. 149–158.
4. Конопля Е.А., Григорович В.Д., Калько А.И. Возможности искусственного интеллекта в играх // Содружество наук. Барановичи-2018: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей, Барановичи. – 2018. – Т. 17.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ

Еременко М.С.<sup>1</sup>, Элешкевич А.Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО «ТомскНИПИнефть», инженер-программист, e-mail: EremenkoMS@tomsknipi.ru

<sup>2</sup> АО «ТомскНИПИнефть», инженер-программист, e-mail: EleshkevichAD@tomsknipi.ru

## Введение

В процессе проектирования и разработки месторождения важную роль играют данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Они используются в задачах концептуального и интегрального проектирования, задачах инженерно-строительных изысканий, а также в рамках экологического мониторинга. Данные ДЗЗ представляют из себя большой массив данных космических снимков, аэрофотосъемки, данных лазерного сканирования, которые необходимо обрабатывать и интерпретировать для дальнейшего использования при развитии месторождения.

Большой объем данных, ручное дешифрирование, постоянное поступление новых снимков и ограниченные сроки, всё это приводит к следующим проблемам:

- высокой трудоемкости и низкой скорости ручного дешифрирования;
- ошибкам распознавания, вызванным человеческим фактором;
- использование устаревших картографических данных.

Для решения указанных проблем предлагается использовать автоматизированное дешифрирование данных ДЗЗ с использованием нейросетевых алгоритмов. Методы распознавание объектов с помощью нейросетей по своей точности на данный момент могут сравниться с результатами ручного распознавания человеком, но кратно превосходят ручные методы по скорости распознавания.

## Описание эксперимента

Для демонстрации работы разрабатываемой технологии и её эффективности, в сравнении с ручным дешифрированием, мы предлагаем рассмотрим задачу формирования топографических планов, выполняемую в рамках камеральных работ по данным цифровой аэрофотосъемки и воздушного-лазерного сканирования. На рисунке. 1 представлен процесс формирования топографического плана.



Рис. 1. Вид исходных данных, промежуточного распознавания объектов и топографическом план

## Результаты

Для решения предложенной задачи предлагается создание нейросетевых моделей для распознавания водных объектов, кустарников, мхов. Модели обучаются на размеченных данных, предоставленных управлением инженерно-строительных изысканий. В основе каждой модели использовалась архитектура сверточной нейронной сети Unet. В таблице 1 представлены значения метрик обученных моделей.

Таблица 1

Статистические показатели моделей

Метрики моделей	F1-мера	Precision	Recall	IoU
Водные объекты	0,974	0,961	0,988	0,95
Кустарники	0,809	0,796	0,814	0,783
Мох	0,842	0,839	0,846	0,821

Результаты распознавания представлены на рис. 2.

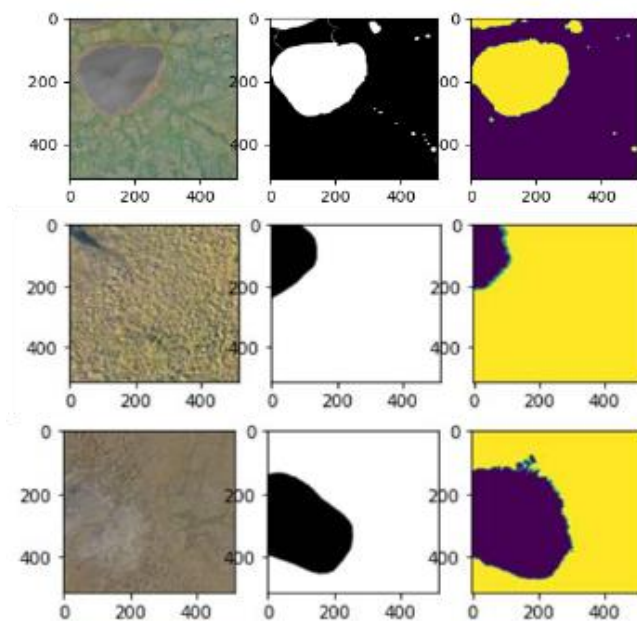


Рис. 2. Демонстрация моделей слева направо: исходные данные, маска, результаты модели; сверху вниз: водные объекты, кустарники, мох

### Заключение

В результате проведенного эксперимента можно сказать, что достигнутый порог ошибки и визуальный осмотр результатов нейросети свидетельствуют о высокой степени автоматизации процесса дешифрирования водных объектов. Таким образом, технология распознавания данных ДЗЗ при помощи нейросетевых моделей при дальнейшем развитии и применении в других задачах дешифрирования может показать хороший результат. Что позволит существенно сократить трудозатраты и ускорить обработку большого массива данных ДЗЗ.

Для удобства работы пользователей с созданными моделями в производственных задачах создан модуль по распознаванию данных ДЗЗ, который устанавливается в QGIS. Общая картинка интеграции представлена на рисунке 3. В QGIS будут загружаться данные ДЗЗ, после чего модуль распознавания данных ДЗЗ будет формировать векторные слои дешифрированных объектов, которыми можно пользоваться, как в системе QGIS, так и выгрузить в геопространственную базу данных.



Рис. 3. Архитектура взаимодействия модуля распознавания данных ДЗЗ

### Список использованных источников

1. Ковин Р.В. Геоинформационные системы: учебное пособие // Р.В. Ковин, Н.Г. Марков. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 175 с.
2. Рылов С.А. Алгоритм спектрально-текстурной классификации спутниковых изображений с использованием частичного обучения / С.А. Рылов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. – Т. 4, № 1. – С. 37–43. – DOI 10.33764/2618-981X-2019-4-1-37-43. – EDN ZAXPEB.
3. Шеломенцева И.Г. Обзор базовых алгоритмов классификации в задаче распознавания изображений анализов мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена / И.Г. Шеломенцева // Актуальные проблемы современной науки в 21 веке : Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции, Махачкала, 31 августа 2017 г. – Махачкала: Общество с ограниченной ответственностью «Апробация», 2017. – С. 18–21. – EDN ZMFPHH.
4. Алгоритмы поиска и классификации изображений линейных объектов на космоснимках / И.Н. Кандоба, В.Б. Костоусов, К.В. Костоусов, Д.С. Перевалов // Математические методы распознавания образов. – 2009. – Т. 14, № 1. – С. 536–539. – EDN YNUMPF.
5. Бычков А.Г. Использование сверточных нейросетей для классификации изображений / А.Г. Бычков, Т.В. Киселева, Е.В. Маслова // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2023. – № 1(43). – С. 39–49. – DOI 10.57070/2304-4497-2023-1(43)-39-49. – EDN SOHCMR.
6. Bousias Alexakis, E. Evaluation of unet and unet++ architectures in high resolution image change detection applications / E. Bousias Alexakis, C. Armenakis // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives : 24, Nice, Virtual, 31 августа 2020 г. Vol. 43. – Nice, Virtual, 2020. – P. 1507–1514. – DOI 10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-1507-2020. – EDN DCMWON
7. Соснин А.С. Функции активации нейросети: сигмоида, линейная, ступенчатая, relu, tahn / А.С. Соснин, И.А. Сулова // Наука. Информатизация. Технологии. Образование : Материалы XII международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 25 февраля 2019 г. – Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2019. – С. 237–246. – EDN VUZYBA.



# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОТСЛЕЖИВАНИЯ И ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ АЛГОРИТМОВ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*Михеев Е.С.<sup>1</sup>, Мамонова Т.Е.<sup>2</sup>, Леонов С.В.<sup>3</sup>, Упоров А.В.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> *Томский политехнический университет, ИШИИЭС, 6ВМ31ПИШ, esm32@tpu.ru*

<sup>2</sup> *Томский политехнический университет, ИШИИЭС, steppe@tpu.ru*

<sup>3</sup> *Томский политехнический университет, ИШИИЭС, leonov@tpu.ru*

<sup>4</sup> *Томский политехнический университет, ИШИИЭС, avu39@tpu.ru*

## Введение

Отслеживание и обнаружение предметов – это ключевые задачи в области компьютерного зрения, которые находят применение в различных областях, таких как безопасность, автономные транспортные средства, медицинская диагностика и многие другие. С развитием технологий и методов анализа данных, в частности, с появлением нейронных сетей, возникло множество подходов к решению этих задач. В этом докладе мы сравним традиционные алгоритмы и методы, основанные на нейронных сетях, в контексте отслеживания и обнаружения объектов.

## Обнаружение предметов

Обнаружение предметов – это задача определения наличия и местоположения объектов в изображении. Традиционные алгоритмы, такие как Haar Cascades и HOG (Histogram of Oriented Gradients), используют заранее заданные признаки для идентификации объектов. Они могут быть эффективными для простых задач, но имеют ряд ограничений, таких как:

- **Низкая точность:** Традиционные методы могут не справляться с изменениями в освещении, углах обзора и фонах.

- **Ручное извлечение признаков:** Требуется значительное время для разработки и настройки признаков, что может усложнить процесс.

С другой стороны, нейронные сети, особенно свёрточные нейронные сети (CNN), значительно улучшили точность обнаружения объектов. Они автоматически извлекают признаки из изображений, что позволяет им лучше адаптироваться к различным условиям. Примеры таких подходов включают:

- **YOLO (You Only Look Once):** Метод, который обеспечивает высокую скорость и точность обнаружения в реальном времени.

- **Faster R-CNN:** Архитектура, которая комбинирует высокую точность с разумной скоростью обработки.

## Отслеживание предметов

Отслеживание предметов – это задача мониторинга перемещения объектов на последовательности изображений или видео. Традиционные методы, такие как Kalman Filter и Meanshift, используют математические модели для прогнозирования положения объектов на основе предыдущих кадров. Эти методы могут быть быстрыми и эффективными для простых задач, но имеют свои ограничения:

- **Чувствительность к шуму:** Они могут не справляться с резкими изменениями в движении объектов или их исчезновением из кадра.

- **Проблемы с перекрытием:** Традиционные методы могут сталкиваться с трудностями при отслеживании нескольких объектов, особенно если они пересекаются.

Нейронные сети также нашли применение в отслеживании объектов. Методы, такие как Deep SORT и Tracktor, используют CNN для извлечения признаков и последующего отслеживания объектов. Преимущества нейронных сетей в отслеживании включают:

- **Устойчивость к шуму и сложным условиям:** Нейронные сети могут лучше справляться с изменениями в сцене и потерей объектов.

- **Способность к обобщению:** Они могут отслеживать объекты, которые ранее не встречались в обучающем наборе данных.

Сравнение алгоритмов и НН

Критерий	Традиционные алгоритмы	Нейронные сети
Точность	Низкая, особенно в сложных условиях	Высокая, устойчивость к шуму
Скорость	Быстрая, но зависит от сложности	Может быть медленнее, но оптимизирована для реального времени
Автоматизация	Требует ручного извлечения признаков	Автоматическое извлечение признаков
Необходимость в данных	Минимальная	Требует большого объема размеченных данных
Сложность настройки	Относительно простая	Сложная, требует специальных знаний

### Сравнительный анализ на практике

В рамках нашего исследования мы провели практический сравнительный анализ методов отслеживания и обнаружения объектов, используя два подхода: традиционные алгоритмы и нейронные сети. Для наглядности были использованы два скриншота, на которых запечатлены результаты работы каждого из методов при обнаружении лиц.

На первом скриншоте (рис. 1) представлена работа традиционного алгоритма. Несмотря на то, что алгоритм способен обнаруживать лица, его результаты показывают ряд недостатков. Лицо на изображении явно видно, при этом немного повернуто в бок, и алгоритм не смог корректно идентифицировать его, что проявляется в низкой точности и высоком уровне ложных срабатываний. Это связано с тем, что традиционные методы, основанные на заранее заданных признаках, не всегда способны адаптироваться к изменениям в условиях освещения, углах обзора и различным фонам.

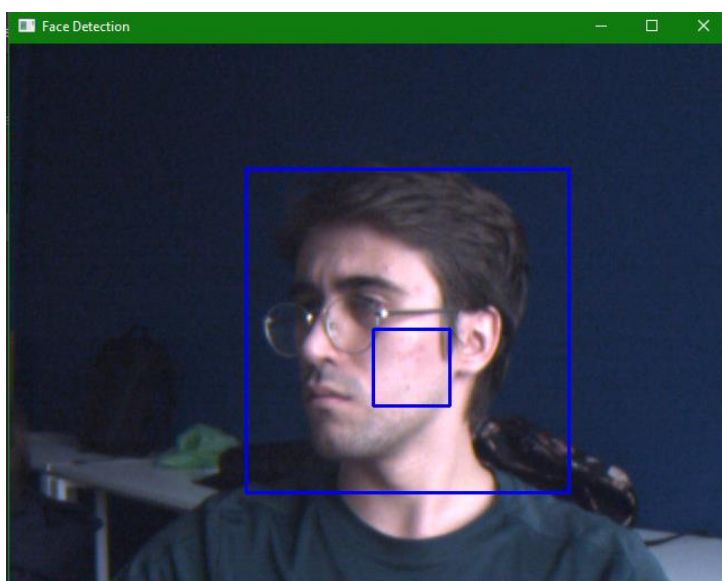


Рис. 1. Работа алгоритма





# МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ВИРТУАЛЬНЫХ АССИСТЕНТАХ

Илясов П.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ,  
г. Санкт-Петербург, 09mmnn@gmail.com

## Введение

Обработка естественного языка (*Natural Language Processing, NLP*) играет ключевую роль в создании виртуальных ассистентов, способных взаимодействовать с пользователями на человеческом языке. *Natural Language Processing* – область в науке, объединяющая два направления: гуманитарную лингвистику и инновационные технологии искусственного интеллекта. Задача *NLP* – создать условия для понимания компьютером смысла речи человека. Современные модели *NLP*, такие как *GPT (Generative Pre-trained Transformer)* и *BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers)*, открывают новые возможности в принятии решений на основе анализа и понимания вопросов, запросов и задач, поставленных пользователями.

## Основная часть

Основные принципы работы *NLP*-моделей Модели обработки естественного языка основаны на глубоких нейронных сетях, обученных на огромных объемах текстовых данных. Эти модели способны распознавать и анализировать смысловые связи между словами и предложениями, что позволяет виртуальному ассистенту не только понимать конкретные вопросы пользователя, но и контекст их использования. Ключевые шаги обработки включают:

Токенизация – разбиение текста на отдельные слова или фразы.

Лемматизация – приведение слов к их базовой форме для улучшения анализа.

Анализ синтаксиса и семантики – понимание структуры предложения и смысла слов в контексте.

Эти шаги позволяют виртуальному ассистенту обрабатывать сложные вопросы и предоставлять ответы, основанные на анализе предыдущих запросов или данных.

## Роль NLP в принятии решений

Главная задача виртуального ассистента – помочь пользователю принять решение, предоставив точную и релевантную информацию. Для этого важно не только «понять» вопрос, но и правильно сформулировать ответ, который будет полезен для принятия решения. *NLP* помогает:

Анализировать запросы – ассистент интерпретирует запросы пользователя и классифицирует их в соответствии с типом задачи, будь то поиск информации, консультация или рекомендация.

Генерировать рекомендации – на основе предыдущих взаимодействий и контекста ассистенты могут предлагать решения, например, выбор продукта, планирование задач или помощь в личных делах.

Поддерживать диалог – важной частью процесса принятия решений является взаимодействие с пользователем. Модели *NLP* способны поддерживать диалог, уточняя детали и предлагая варианты решений.

## Преимущества и вызовы

*NLP*-модели значительно повышают качество взаимодействия виртуальных ассистентов с пользователями, обеспечивая:

Персонализацию ответов с учетом истории запросов и предпочтений пользователя.

Быстрое принятие решений благодаря автоматизированному анализу данных.

Однако есть и вызовы, такие как необходимость высокого качества данных для обучения моделей и обеспечение прозрачности и объяснимости решений, предлагаемых ИИ. Важной задачей является также предотвращение предвзятости моделей, чтобы предложенные решения были объективными.

Модели *GPT* и *BERT* – это два ключевых достижения в области обработки естественного языка (*NLP*), которые привели к значительным улучшениям в понимании текста и генерации ответов виртуальными ассистентами.

## 1. *GPT (Generative Pre-trained Transformer)*

*GPT* – это трансформерная модель, разработанная компанией *OpenAI*, которая фокусируется на генерации текста. Основная идея заключается в том, что модель обучается предсказывать следующее слово в последовательности, основываясь на предыдущих словах. Это делает её особенно полезной для задач генерации текста, таких как написание ответов, создание диалогов или продолжение текста.

### **Ключевые особенности *GPT*:**

Авторегрессионная модель: *GPT* работает в режиме последовательного предсказания слов. Модель использует предыдущее контекстное окно, чтобы предсказать следующее слово.

Предобучение и дообучение: Модель обучается на огромных объемах данных (например, книг и веб-страниц), а затем дообучается на специфичных задачах, что позволяет ей адаптироваться к различным сценариям использования.

Генерация текста: *GPT* хороша для генерации текста в ответ на запросы. Например, виртуальные ассистенты могут использовать *GPT* для создания осмысленных ответов на вопросы пользователей, учитывая контекст диалога.

Применение *GPT* в виртуальных ассистентах:

Построение диалогов: *GPT* используется для создания естественных и последовательных диалогов, что важно для поддержки взаимодействия с пользователем.

Ответы на вопросы: Модель может генерировать подробные ответы на основе контекста запроса, учитывая предыдущие сообщения.

Креативные задачи: *GPT* может предложить несколько вариантов решений на основе запроса, что полезно в ситуациях, где требуется выбор между альтернативами.

*Преимущества GPT:*

- Способность к генерации связного и естественного текста.
- Высокая эффективность в задачах продолжения диалогов и создания длинных текстов.
- Модель может быть быстро адаптирована к новым задачам с минимальной донастройкой.

*Ограничения:*

– *GPT* может генерировать ошибочные или неуместные ответы, если контекст запроса недостаточно ясен.

– Модель не учитывает все возможные аспекты задачи, так как ориентируется только на предсказание текста, а не на его глубинное понимание.

## 2. *BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers)*

*BERT* – это модель, созданная *Google*, которая сильно отличается от *GPT*. В то время как *GPT* является автогенерационной моделью, *BERT* сосредоточена на понимании текста и использует двунаправленное кодирование, что позволяет ей учитывать контекст как до, так и после каждого слова.

### **Ключевые особенности *BERT*:**

Двунаправленное обучение: В отличие от *GPT*, которая предсказывает следующее слово на основе предыдущих, *BERT* анализирует контекст как слева, так и справа от слова. Это позволяет модели лучше понимать смысл слов в предложении.

Заполнение пропусков в предложениях: Одним из методов предобучения *BERT* является задача «*Masked Language Modeling*», где часть слов в предложении скрыта, и модель должна предсказать их на основе оставшегося контекста.

Тонкая настройка на конкретные задачи: *BERT* можно дообучать для различных задач, таких как классификация текста, поиск релевантной информации, анализ тональности и многое другое.

Применение *BERT* в виртуальных ассистентах:

Анализ запроса пользователя: *BERT* отлично подходит для того, чтобы понимать смысл вопроса пользователя, выделяя ключевые элементы и правильно интерпретируя запрос.

Поиск информации: Модель *BERT* используется для поиска ответов на вопросы из базы данных или интернета. Она способна точно находить фрагменты текста, релевантные запросу, благодаря глубокому пониманию контекста.

Классификация запросов: *BERT* можно обучить для классификации запросов пользователя по типам (например, информационный запрос, транзакционный запрос и т.д.), что упрощает выбор стратегии ответа виртуального ассистента.

#### *Преимущества BERT:*

- Отличное понимание контекста и значений слов в предложениях.
- Мощный инструмент для задач извлечения информации, анализа текстов и вопросов-ответов.
- Легко адаптируется к различным задачам, требующим точного анализа текста.

#### *Ограничения:*

- *BERT* не генерирует текст, как *GPT*, его основная задача – анализ и интерпретация.
- Модель требует больших вычислительных ресурсов для эффективной работы и обучения.

### **Заключение**

*NLP*-модели открывают широкие возможности для виртуальных ассистентов, делая их более умными и эффективными в процессе принятия решений. Эти технологии продолжают развиваться, предлагая пользователям все более точные и персонализированные ответы, что позволяет виртуальным помощникам стать важным инструментом в повседневной жизни и работе.

### **Список использованных источников**

1. Исаева М.З. и др. Методы и технологии обработки естественного языка // МИЛЛИОНЩИКОВ-2023. – 2023. – С. 90–95.
2. Прошина М. В. Современные методы обработки естественного языка: нейронные сети // Экономика строительства. – 2022. – № 5. – С. 27–42.
3. Гольдберг Й. Нейросетевые методы в обработке естественного языка / Litres, 2022.
4. Zhou M. et al. Progress in neural NLP: modeling, learning, and reasoning // Engineering. – 2020. – Т. 6. – № 3. – С. 275–290.
5. Transformer C.G.P., Zhavoronkov A. Rapamycin in the context of Pascal's Wager: generative pre-trained transformer perspective // Oncoscience. – 2022. – Т. 9. – С. 82.
6. Alaparthi S., Mishra M. Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT): A sentiment analysis odyssey // arXiv preprint arXiv:2007.01127. – 2020.
7. Гордиенко Д.А., Малиновская Д.А. Современные виртуальные ассистенты // Инновационные технологии и образование. – 2022. – С. 77–80.
8. Ашманов С.И., Сухачев П.С., Зоркий Ф.К. Способ управления диалогом и система понимания естественного языка в платформе виртуальных ассистентов. – 2020.

# ПРОБЛЕМА УСТОЙЧИВОСТИ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГО УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ

*Исмаилов Э.М.<sup>1</sup>, Гавриленко Т.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Сургутский филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», г. Сургут, Российская Федерация, e-mail: trol.8@inbox.ru

<sup>2</sup> Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация, политехнический институт, доцент, e-mail: taras.gavrilenko@gmail.com

## Введение

Сегодняшний день характеризуется нестабильностью во взаимоотношениях между многими странами, обострением политической, конкурентной и вооруженной борьбы за ресурсы, технологии, рынки и сферы влияния не только между государствами, но и компаниями, что приводит к использованию всего доступного арсенала средств и методов борьбы с применением новейших технологий. Такая постоянно нарастающая геополитическая напряженность подводит к смене парадигм, в том числе в отношении оценки рисков и обеспечения безопасности критической инфраструктуры.

Следствием таких процессов является промышленный шпионаж в более жесткой и изощренной форме, направленный на кражу интеллектуальной собственности и диверсии в отношении инфраструктуры соперников с целью нанесения максимального урона механизмам, технологиям и процессам.

Указанные обстоятельства влекут за собой технические, политические, военные, юридические, коммерческие, производственные и иные виды рисков, реализация которых может привести к тяжелейшим последствиям для жизни и здоровья граждан и экономики страны [1].

Согласно требованиям действующего законодательства основными принципами государственного регулирования и контроля в электроэнергетике в том числе являются:

- приоритет обеспечения жизни и здоровья физических лиц;
- обеспечение энергетической и экологической безопасности электроэнергетики;
- создание необходимых условий для технологического развития электроэнергетических систем

Российской Федерации, включая развитие и внедрение новых высокоэффективных технологий и интеллектуальных систем управления [2].

Очевидно, что на государственном уровне в контексте обеспечения многоуровневой безопасности энергосистемы страны обсуждается необходимость внедрения технологий с применением искусственного интеллекта.

## Основная часть

Эффективным решением по недопущению негативных сценариев развития в отношении важнейших объектов энергетики является применение в секторах критической инфраструктуры (КИИ) систем на основе искусственного интеллекта (ИИ).

В законодательстве РФ содержится емкое определение ИИ, под которым понимается: компьютерное зрение, обработка естественного языка, распознавание и синтез речи, и другие методы [3].

В современном мире видно стремительное развитие и использование во всех сферах жизни общества информационных технологий. Одним из перспективных направлений их применения является управление КИИ. КИИ включает в себя системы жизнеобеспечения населения, такие как энергетика, водоснабжение, транспорт, связь и другие важные объекты инфраструктуры.

Применение технологий ИИ в управлении КИИ имеет ряд преимуществ. Реализация ИИ позволит повысить эффективность объектами управления и защиты. Благодаря анализу больших данных и машинному обучению, можно не только эффективно спрогнозировать потребность в ресурсах и оптимизировать использование оборудования, но и минимизировать риски возникновения аварийных ситуаций [9, 10]. Это позволит улучшить качество предоставляемых услуг, снизить затраты на эксплуатацию объектов и повысить их надежность.

Однако, в условиях современного мира безопасность критической инфраструктуры становится одной из ключевых задач, стоящих перед государством и обществом. Особое внимание уделяется

сфере электроэнергетики, которая играет важнейшую роль в функционировании экономики и социальной сферы страны. Технологии на базе ИИ в настоящее время представляют собой один из наиболее эффективных инструментов для обеспечения безопасности в этой области.

ИИ возможно использовать для повышения качества и оперативности мониторинга и управления энергосистемой. Данные технологии позволяют собирать и анализировать большие объемы данных, получаемых от различных датчиков и устройств, установленных на объектах электроэнергетики. Это помогает оперативно выявлять аномалии и потенциальные угрозы, а также прогнозировать возможные сбои и аварии [5, 6, 8].

Одной из основных задач, решаемых с помощью ИИ, является анализ состояния оборудования и оценка его надежности. Система ИИ может отслеживать параметры работы электростанций, линий электропередач и подстанций, выявлять отклонения от нормальных значений и предупреждать операторов о необходимости проведения профилактических работ или ремонта [4, 6].

Кроме того, возможно эффективное применение ИИ для защиты от кибератак. Современные системы ИИ способны выявлять подозрительную активность в сети, блокировать попытки взлома и автоматически реагировать на угрозы. Это позволяет значительно сократить риски несанкционированного доступа к системам управления и нарушению их работы [7].

Также важным направлением применения ИИ в электроэнергетике является возможность оптимизации потребления электроэнергии. Технологии на основе ИИ могут анализировать данные о потреблении энергии различными приборами, оборудованием и предлагать оптимальные режимы работы аппаратов и машин. Это может способствовать снижению затрат на производство и передачу электроэнергии, а также уменьшению нагрузки на сеть в пиковые периоды.

При этом возникает необходимость обеспечения высокой степени надежности и защищенности систем ИИ, так как любые ошибки или сбои могут привести к серьезным последствиям. Хакеры могут использовать уязвимости в системах ИИ для получения доступа к важным данным или даже для манипуляции системами управления. Поэтому важно уделять особое внимание вопросам кибербезопасности и защите данных.

Кроме того, существует риск потери контроля над системами ИИ. Если алгоритмы обучения будут недостаточно надежными, системы могут принимать неправильные решения, что может привести к серьезным негативным последствиям.

Эксплуатация технологий на основе ИИ в управлении критической инфраструктурой открывает новые возможности для повышения продуктивности, автоматизации и безопасности управления важными объектами инфраструктуры. Однако, необходимо учитывать риски и предпринимать меры для их минимизации.

Наиболее прогрессивным представляется использование ИИ как средства независимого контроля косвенных параметров состояния системы, что может позволить вывести данный процесс на качественно новый уровень, повысив ее безопасность и надежность [11, 12]. Вместе с тем, следует отметить, что на сегодняшний день нет опубликованных данных об применении ИИ как системы независимого контроля косвенных параметров состояний технологического процесса, который мог бы в режиме реального времени контролировать и предпринимать необходимые действия более чем над одним технологическим процессом.

Система ИИ способна осуществлять мониторинг огромного количества разнообразных параметров, таких как температура, давление, скорость потока, напряжение и ток в режиме реального времени. Эти параметры могут изменяться в зависимости от внешних условий и внутренних факторов, что требует постоянного наблюдения и коррекции [11, 12]. ИИ позволяет автоматически отслеживать эти изменения и корректировать работу исполнительных органов, обеспечивая стабильность и безопасность ее функционирования.

Важно подчеркнуть, что одной из отличительных особенностей ИИ является способность самообучаться и адаптироваться к изменяющимся условиям. Благодаря этому система может распознавать новые ситуации и быстро находить наиболее оптимальные способы решения. Это является особенно актуальным в случаях, когда возникают непредвиденные обстоятельства или происходят аварии, требующие немедленного вмешательства и определенной последовательности действий.

Помимо этого, ИИ способствует значительно снизить влияние человеческого фактора на процесс управления системой. Автоматизация процессов контроля и принятия решений позволяет избежать ошибок, связанных с усталостью, невнимательностью, недостаточной компетентностью оператора, а

также возможными злонамеренными действиями. Это увеличивает общую безопасность системы и снижает вероятность возникновения аварийных ситуаций.

## **Заключение**

Пользование технологий на основе ИИ, обеспечит надёжность систем, позволит отследить и пресечь попытки несанкционированного внешнего воздействия.

Алгоритмы ИИ предоставят в режиме реального времени анализировать ключевые параметры работы оборудования и при их отклонении от штатных показателей, система на базе ИИ окажет интеллектуальную поддержку оператору в форме актуальных алгоритмов направленных на стабилизацию производственного процесса и его возвращение к штатному режиму работы.

На основе изложенного можно сделать вывод о том, что эффективным решением для обеспечения информационной и энергетической безопасности будет внедрение в существующие системы защиты и управления КИИ технологий на основе ИИ, это позволит обеспечить информационную и промышленную безопасность основных секторов государства. В этой связи разработка интеллектуальных моделей для применения в управлении КИИ представляется одной из наиболее актуальных задач.

## **Список использованных источников**

1. Востров В.А., Гавриленко Т.В., Исмаилов Э.М. Некоторые аспекты разработки интеллектуальной модели для финансового риск-менеджмента нефинансовых организаций. // *Успехи кибернетики*. – 2023. – № 4. – URL: [https://ru.jcyb.ru/nisii\\_tech/article/view/251](https://ru.jcyb.ru/nisii_tech/article/view/251) (дата обращения: 29.09.2024).
2. Российская Федерация. Законы. Об электроэнергетике. : федер. за-кон от 26.03.2003 № 35-ФЗ // URL: <https://legalacts.ru/doc/federalnyi-zakon-ot-26032003-n-35-fz-ob/>.
3. «О проведении эксперимента по установлению специального регулирования в целях создания необходимых условий для разработки и внедрения технологий искусственного интеллекта в субъекте Российской Федерации - городе федерального значения Москве и внесении изменений в статьи 6 и 10 Федерального закона «О персональных данных» // *Федеральный закон*. от 24.04.2020 г. № 123-ФЗ – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45475>.
4. Lee H.J.B, Ahn S., Park Y.M. Экспертная система диагностики неисправностей для распределительных подстанций // *IEEE Trans. Power Deliv.* – 2000. – Vol. 15. – P. 92– 97.
5. Zhu Yongli, H. Limin and Lu Jinling. Bayesian networks-based approach for power systems fault diagnosis // *IEEE Transactions on Power Delivery*. – 2006. – Vol. 21, no. 2. – P. 634–639. – Doi: 10.1109/TPWRD.2005.858774.
6. Jing Sun, Shi-Yin Qin and Yong-Hua Song. Fault diagnosis of electric power systems based on fuzzy Petri nets // in *IEEE Transactions on Power Systems*. – 2004. – Vol. 19, no. 4. – P. 2053–2059. – Doi: 10.1109/TPWRS.2004.836256.
7. L. Wen X. Li L. Gao and Zhang Y. A New Convolutional Neural Network-Based Data-Driven Fault Diagnosis Method // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. – 2018. – Vol. 65, no. 7. – P. 5990–5998. – Doi: 10.1109/TIE.2017.2774777.
8. Bouthiba T. Fault location in EHV transmission lines using artificial neural networks // *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.* – 2004. – Vol. 14. – P. 69–78.
9. Iqbal R., Maniak T., Doctor F. and Karyotis C. Fault Detection and Isolation in Industrial Processes Using Deep Learning Approaches // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. – 2019. – Vol. 15, no. 5. – P. 3077–3084. – Doi: 10.1109/TII.2019.2902274.
10. Angeli C. Online expert systems for fault diagnosis in technical processes // *Expert Syst.* – 2008. – Vol. 25. – P. 115–132.
11. Cheng Y., Bi J., Chang W., et al. Proposed methodology for online frequency response analysis based on magnetic coupling to detect winding deformations in transformers // *High Voltage*. – 2020. – Vol. 5. (3). – P. 343–349.
12. Chang B., Cwikowski O., Barnes M., Shuttleworth R., Beddard A., Coventry P. Review of different fault detection methods and their impact on pre-emptive VSC-HVDC dc protection performance // *High Voltage*. – 2017. – Vol. 2. – P. 211–219.

# СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Калинкин Я.В.<sup>1</sup>, Киселев С.А.<sup>2</sup>, Зебзеев А.Г.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> АО «ТомскНИПИнефть», Группа № 2 проектирования АСУ 2 уровня, инженер-программист, e-mail: KalinkinYV@tomsknipi.ru

<sup>2</sup> АО «ТомскНИПИнефть», Управление лабораторных исследований пластовых флюидов, главный эксперт, e-mail: KiselevSA@tomsknipi.ru

<sup>3</sup> АО «ТомскНИПИнефть», Экспертная группа, главный эксперт по цифровизации, e-mail: ZebzeevAG@tomsknipi.ru

## Введение

В связи с повышением сложности технологических процессов, а также курса на повышение эффективности и безопасности производств, высокое значение приобретают инструменты автоматизации и цифровизации, уменьшающие долю вовлечения человека в технологический процесс, а также механизмы и алгоритмы оптимизации технологических процессов.

Данная работа содержит демонстрацию прототипов СППР (систем поддержки принятия решений) управления обезвоживанием нефти. Данная система предназначена для оптимизации расхода деэмульгатора при достижении требуемого процента остаточной обводненности нефти [1].

## Описание разработки

Одним из параметров водонефтяной эмульсии является процент содержания воды – обводненность. Данный параметр влияет как на качество товарной нефти как продукта, так и на качества производимых далее нефтепродуктов, поэтому обезвоживание нефти является одним из целевых процессов подготовки нефти наряду с обессоливанием.

Необходимо обеспечить достижение требуемого содержания воды в водонефтяной эмульсии (ВНЭ). Ввиду наличия нескольких факторов, влияющих на содержание воды в ВНЭ (начальная температура эмульсии, температура в сепараторе, время удержания эмульсии, расход деэмульгатора и т.д.), управление процессом обезвоживания нефти также должно быть комплексным.

Факторами, наиболее значительно влияющими на процент содержания воды в ВНЭ, были признаны расход деэмульгатора и температура в сепараторе.

На данный момент отсутствуют прямые зависимости, отражающие взаимосвязь содержания воды в ВНЭ со значениями прочих технологических параметров, поэтому методом построения цифровой модели была выбрана разработка модели машинного обучения.

Были получены массив статистических значений технологических параметров нефтегазового сепаратора со сбросом воды (далее НГСВ) [2].

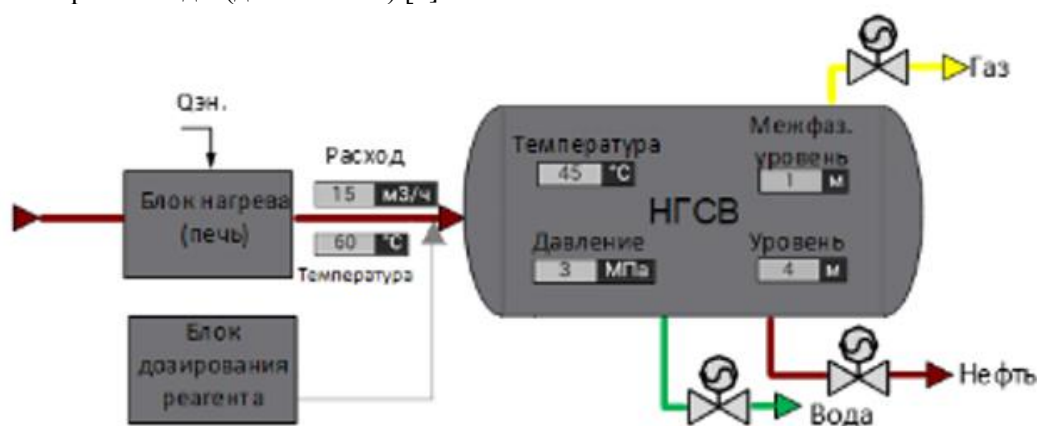


Рис. 1. Упрощенная технологическая мнемосхема управления НГСВ

Основными параметрами, использованными для обучения модели, являются:

- температура в сепараторе;
- уровень ВНЭ в сепараторе;



- межфазный уровень в сепараторе;
- расход деэмульгатора;
- время удержания ВНЭ;
- давление в сепараторе.

Также были использованы статистические значения обводненности. Далее в среде SCADA был разработан операторский интерфейс, позволяющий пользователю взаимодействовать с моделью машинного обучения (рис. 2).

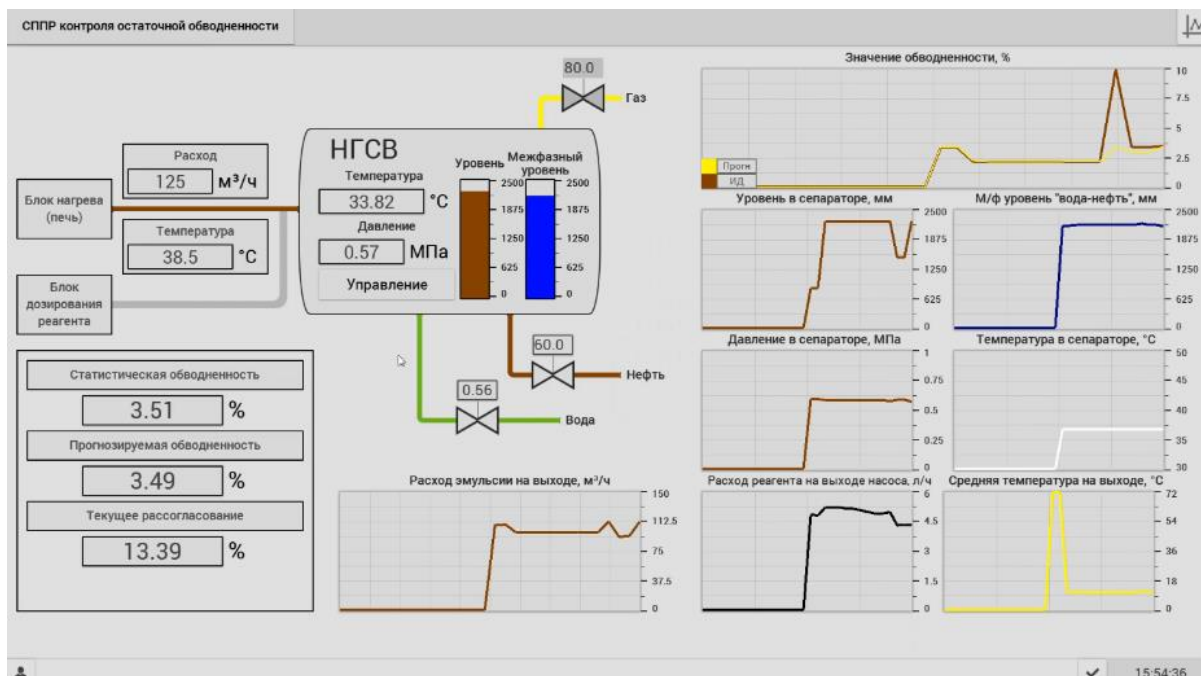


Рис. 2. Операторский интерфейс разработанного прототипа СППР

Данный прототип реализован в концепции «Советник». Пользователь предлагается ввести требуемый процент обводненности в целевой ВНЭ, после чего на основании модели машинного обучения и вспомогательных алгоритмов происходит расчет технологического режима, обеспечивающего требуемый процент обводненности при минимизации нагрева ВНЭ и подачи деэмульгатора (рис. 3).

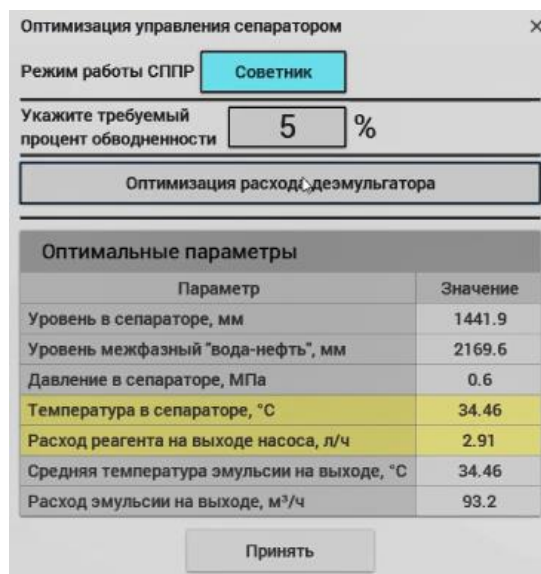


Рис. 3. Интерфейсное окно расчета оптимального технологического режима

Путем оптимизации затрат электроэнергии на нагрев ВНЭ и расхода деэмульгатора обеспечивается экономический эффект работы СППР.

### **Заключение**

Таким образом, при дополнительной калибровке на конкретном промысле данная обобщенная СППР может быть тиражирована на НГСВ аналогичного типа и использована как средство цифровизации и интеллектуализации технологического процесса, обеспечивающее экономичное ведение технологического процесса.

### **Список использованных источников**

1. Висайтова Л.Р. Системы поддержки принятия решений: эффективность принятия решений // Научно-практический электронный журнал Аллея Науки. – 2020. – № 11 (50). – С. 219–225.
2. Обезвоживание нефти и нефтепродуктов : НПП ЭКОЭНЕРГОМАШ : сайт. – Казань, 2006-2024. – URL: <https://www.eemkzn.ru/articles/article12-obezvozhivanie-nefti-i-nefteproduktov> (дата обращения 05.08.2024).

# ОБЗОР МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Курбатов А.В.<sup>1</sup>, Еленская А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> СПбГЛТУ им. С. М. Кирова Колледж технологий лесного комплекса и садово-паркового хозяйства, ИСП-211, email: alekseykurbatov2005@gmail.com

<sup>2</sup> СПбГЛТУ им. С. М. Кирова, кафедра робототехнических систем и интеллектуальных технологий, ассистент, email: elenskayaaa1996@gmail.com

## Введение

Методы обучения нейронных сетей выполняют ключевую функцию в создании программы выполнения задач по распознаванию объектов. Основная цель машинного зрения – правильно опознать и классифицировать объекты. Качественно обученная модель нейронной сети машинного зрения способна с минимальным процентом ошибки опознать представленный ей объект. Для обучения модели применяются различные алгоритмы и методы по построению связи между изображением и классификацией объекта. В книге К. Бишоп объяснены главные концепции, стоящие за основными алгоритмами обучения машинного зрения, отличаясь объёмом требуемых данных, затратами человеческого и энергоресурса, точностью результатов тестовой выборки [1].

Исходя из вышесказанного, сформулируем задачу нашего исследования, которая будет заключаться в рассмотрении алгоритмов и методов, которые могут быть применены при обучении и реализации программного обеспечения, использующегося для выполнения задач по распознаванию и классификации объектов.

## Теория

Для построения алгоритма обучения нейронной сети изначально требуется собрать необходимые данные для обучения. Материалы для обучения следует собирать, учитывая различные условия, чтобы получить наиболее точную информацию об исследуемом объекте. После сбора достаточного количества данных, необходимых для формирования обучающей выборки, их следует редактировать: отсеять бракованные и возможно ошибочные материалы, провести подготовку к дальнейшим этапам. При этом анализ данных может быть произведен несколькими способами: отсеяны неликвидные данные по старинке (путем просмотра собранной информации) или с применением Data Mining [2].

Далее следует разбить данные на две группы – данные для обучения, и данные для тестирования. Существует два типа и три основных алгоритма для обучения модели машинного зрения, которые мы рассмотрим [3]:

1. Обучение с учителем.
2. Обучение без учителя.

Из этих двух типов выделены три наиболее распространённых метода обучения:

1. Метод обратного распространения.
2. Метод упругого распространения.
3. Генетический алгоритм обучения.

Для осуществления алгоритмов типа «Обучение с учителем» перед непосредственно обучением следует разметить исходный материал и верную классификацию данных, по которым будет проходить обучение.

Алгоритмы типа «Обучение без учителя» предполагают больший набор начальных данных и не требуют разметки, и в последствии алгоритм обучится сам определять нужный результат из похожих исходных данных.

Рассмотрим применение алгоритмов обучения на примере распознавания показаний счётчиков воды, включающий в себя набор из 500 медиафайлов для обучения и 100 медиафайлов для тестирования, в качестве оценки результата приведем график успешности определения значений для тестового набора.

**Метод обратного распространения.** Является одним из наиболее применяемых методов. Основывается на алгоритме вычисления градиентного спуска, вдоль градиента проводится расчёт локального максимума и минимума функции [4]. Поиск значения градиента проводится путём вычисления производной от функции в найденных точках. Точка имеет случайным образом распределённое значение веса. в каждой из точек следует провести расчёт градиента и определять направленность функций,

пока не будет достигнут локальный минимум. Для достижения локального минимума требуется использовать дополнительный параметр – коэффициент скорости обучения. При этом, если коэффициент слишком мал – понадобится слишком большое количество итераций для достижения минимума, однако если слишком велик – есть риск преодолеть локальный минимум функции.

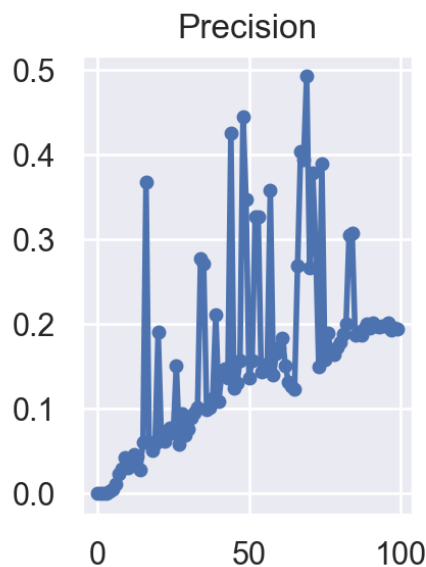


Рис. 1. График успешности определения значений для метода обратного распространения

**Метод упругого распространения.** Является модификацией метода обратного распространения [4]. Алгоритм использует знаки производных частного случая для корректировки весов. В данном случае при смене знака производной с положительного на отрицательный, означает, что ошибка возрастает, вес требует коррекции и его уменьшения. В обратном случае, если знак производной остаётся неизменным, требуется его увеличение. За счёт вышесказанного метод требует меньшее количество времени на реализацию.

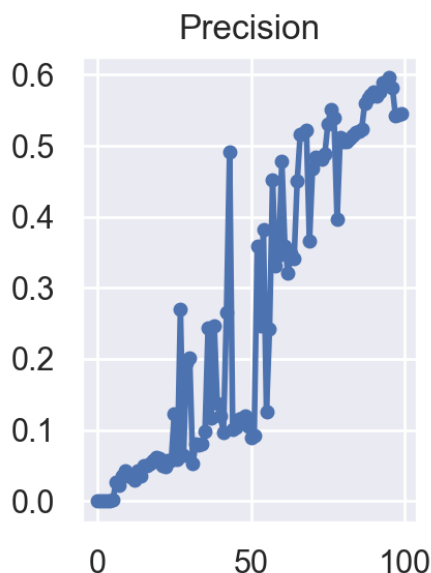


Рис. 2. График успешности определения значений для метода упругого распространения

**Генетический алгоритм обучения.** Метод основывается на скрещивании результатов, выбора наилучшего и формирования на его основе следующего поколения [4]. В идеальном случае алгоритм повторяется, пока не достигнет наилучшего результата, в реальном же обучении алгоритм может завершить своё выполнение при достижении ограничений времени и количества поколений.

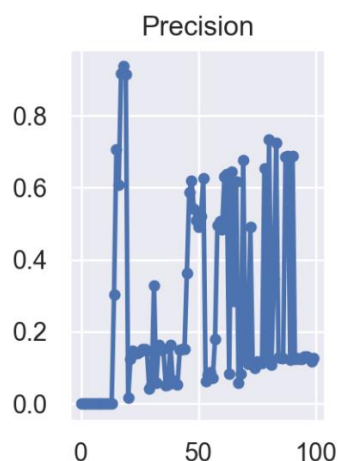


Рис. 3. График успешности определения значений для генетического алгоритма обучения

### Заключение

На основе рассмотренных методов обучения модели машинного обучения можно определить, что каждый метод подходит для использования в зависимости от внешних факторов, и ни один метод нельзя назвать безошибочным или идеальным. При проведении эксперимента по распознаванию изображений счётчиков по методу обратного распространения наилучшим показателем было распознавание 50 % изображения, по методу упругого распространения 60 %, по генетическому алгоритму – 95 %. На основании полученных данных после проведения эксперимента можно заключить, что генетический алгоритм обучения нейронных сетей является наиболее точным, при достаточном запасе времени для обучения модели. Метод упругого распространения требует наименьшие затраты времени на обучение. Метод обратного распространения является простейшим из представленных для реализации.

### Список использованных источников

1. Кристофер Бишоп Pattern Recognition and Machine Learning. – Сингапур: Springer, 2006. – 758 с.
2. Москвитин А.А. Данные, информация, знания: методология, теория, технологии : монография / А.А. Москвитин. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 236 с
3. Баланов А.Н. Машинное обучение и искусственный интеллект : учебное пособие для вузов / А.Н. Баланов. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 172 с.
4. Методы обучения нейронных сетей Источник: <https://livesurf.ru/zhurnal/6068-metody-obucheniya-nejronnyx-setej.html> // Журнал о интернет-маркетинге и seo продвижении. – URL: <https://livesurf.ru/zhurnal/6068-metody-obucheniya-nejronnyx-setej.html> (дата обращения: 29.09.2024).

# К ВОПРОСУ О БЕЗОПАСНОСТИ В МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ВНЕДРЕНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

*Лимонцев Д.С.*

*ФГК ВОВ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского Союза  
С.М. Буденного» МО РФ, г. Санкт-Петербург, РФ, старший оператор роты (научной),  
limontsev2014@yandex.ru*

## **Введение**

Современные системы машинного обучения требуют особого подхода к разработке и защите на всех этапах их жизненного цикла. Одной из наиболее распространенных методологий, используемых для структурирования процесса разработки ML-моделей, является Crisp-DM. Однако, по мере роста использования интеллектуальных систем принятия решений, возрастает и количество угроз, связанных с безопасностью данных, моделей и процессов их обучения. В этой работе рассматриваются ключевые проблемы безопасности в разработке моделей машинного обучения, предлагаются методы защиты данных, моделей и конвейеров обучения, а также обсуждаются современные инструменты для автоматизации защиты, такие как Adversarial Robustness Toolbox и методы кластеризации активаций нейронных сетей.

## **Описание проблематики**

Процесс разработки моделей машинного обучения (ML-моделей) достаточно сложный и не линейный. По состоянию на текущий момент существует множество методологий проектирования ML-моделей, особое место среди которых занимает Crisp-DM. Ее особенность заключается в том, что она позволяет систематизировать процесс разработки моделей машинного обучения, разделив его на этапы. Так, Crisp-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) — это стандартная методология для разработки ML-моделей и их внедрения в продукты. Она состоит из следующих этапов [1]:

1. Определение бизнес-задачи и видения продукта – установка целей и требований к проекту.
2. Сбор и препроцессинг данных – сбор, очистка и предварительная обработка данных.
3. Создание и обучение модели – выбор алгоритмов и обучение модели на подготовленных данных.
4. Оценка метрик модели – оценка качества модели с использованием соответствующих метрик.
5. Подготовка модели к внедрению – оптимизация и интеграция модели в продукт.
6. Получение обратной связи от заказчиков – сбор отзывов для дальнейшего улучшения.
7. Переоценка задачи и метрик модели при необходимости – адаптация модели к новым требованиям или изменениям в данных.

Стоит отметить, что приведенные выше этапы в процессе разработке ML-модели зачастую идут не последовательно и повторяются. К примеру, если оценка метрик модели пройдет без достижения необходимого результата, придется вернуться на предыдущий этап разработки (рис. 1).

Учитывая то обстоятельство, что проблемы могут возникнуть на любом из этапов разработки ML-модели, становится актуальным вопрос обеспечения безопасности на всех этапах, относящихся к разработке и обучению самой модели. Таким образом, при проектировании и внедрении интеллектуальных систем принятия решений необходимо защищать следующие элементы:

- данные – исходные и обработанные данные для обучения модели, содержащие конфиденциальную информацию;
- модель – алгоритмы и параметры модели, являющиеся интеллектуальной собственностью, могут оказаться мишенью для подделки или кражи;
- конвейер обучения – также уязвим для атак и системных сбоев.

Данные являются ключевым элементом машинного обучения. По последним данным статистики [2, 3] одной из частых ошибок, совершаемых разработчиками, является недостаточная проверка данных. Скомпрометированные и низкокачественные данные в большинстве случаев приводят к серьезным ошибкам и уязвимостям. В связи с этим необходимо осуществлять проверку данных, учитывая следующие положения:

1. Данные необходимо проверять на вредоносность (сканирование файлов на наличие вредоносного кода) с использованием таких инструментов как VirusTotal.
2. Проводить анализ качества и релевантности данных с применением статистических методов.
3. Вручную осуществлять проверку и разметку данных.

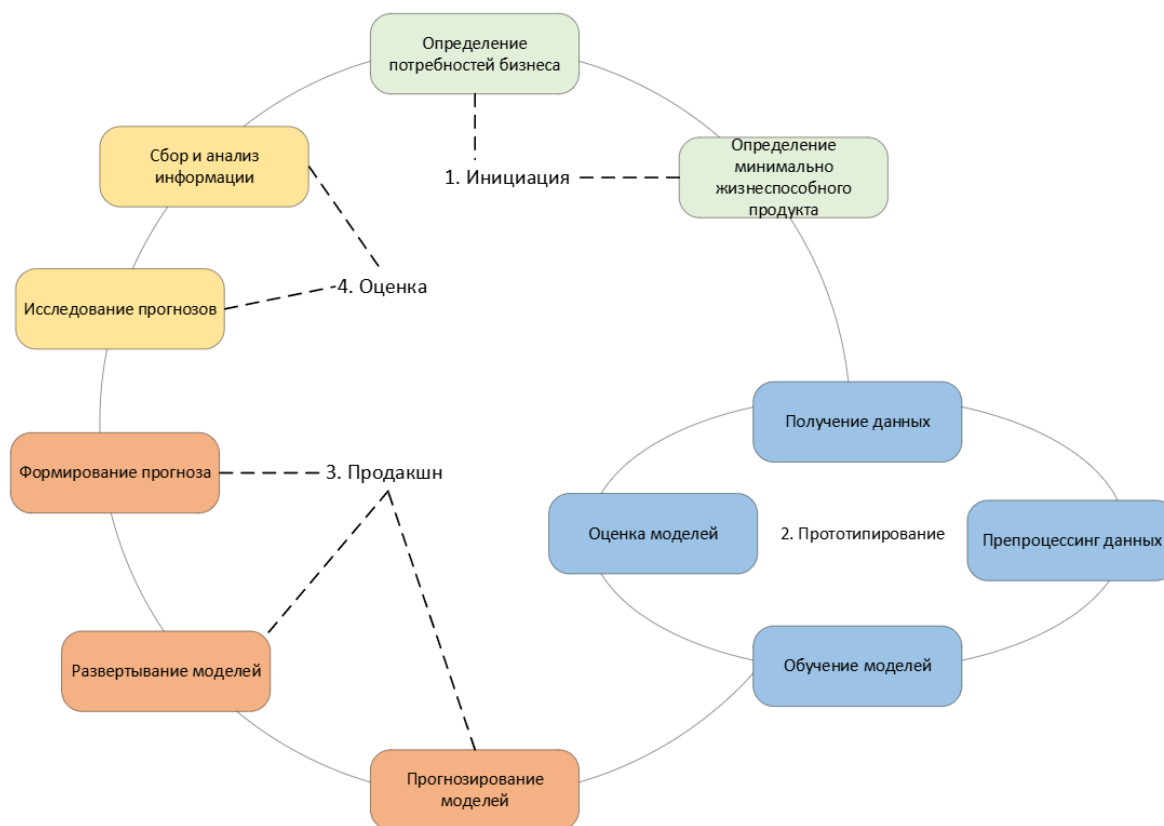


Рис. 1. Схематичное представление методологии Crisp-DM

Помимо этого, в целях эффективной защиты данных необходимо использовать гомоморфное шифрование, маскирование данных, а также разграничение доступа.

При гомоморфном шифровании модель обучается на зашифрованных данных без их расшифровки; при маскировании скрываются чувствительные данные с их заменой на фиктивные значения; разграничение доступа устанавливает строгие права доступа к моделям и данным в хранилищах.

Наряду с данными необходимо обеспечивать защиту моделей. Так, безопасность модели зависит от ряда факторов, в частности – уровень доступа, который может получить злоумышленник. Существует три уровня доступа [4]:

1. Представление модели в виде «белого ящика» – злоумышленник проводит детальный анализ модели, выявляет уязвимости и на основе этой информации разрабатывает точные атаки. Защита на данном уровне обеспечивается за счет шифрования данных, контроля доступа и постоянного аудита модели.

2. Представление модели в виде «черного ящика» – злоумышленник взаимодействует с моделью исключительно через пользовательский интерфейс. Здесь безопасность обеспечивается за счет ограничения числа запросов.

3. Представление модели в виде «серого ящика» – злоумышленник частично знает внутреннее устройство модели. На данном уровне возможно обеспечить безопасность только за наложением запрета на разглашение подробностей о модели.

Наряду с этим существует одна из наиболее серьезных угроз в машинном обучении – состязательные атаки, представляющие собой различные методы, с помощью которых злоумышленники воздействуют на модели машинного обучения (рис. 2). Атаки данного типа нацелены на искажение результатов работы модели или получение информации конфиденциального характера.

На текущий момент наибольшее распространение получили атаки двух типов – атаки уклонения и атака извлечения данных. При атаке уклонения злоумышленник осуществляет подбор входных данных, чтобы модель выдала необходимый результат, к примеру конфиденциальную информацию. По информации из ряда источников злоумышленники зачастую используют механизмы подсказок-инструкций (промт), которые изменяют поведение модели для получения чувствительной информации. Атака извлечения данных осуществляется злоумышленником путем подмены данных, добавляя некорректно размеченные и вредоносные примеры. Как итог – модель становится обученной на некорректных данных и начинает ошибаться в условиях реального использования.

Так, для защиты моделей целесообразно использовать следующие инструменты [5]:

1. Adversarial Training – включение состязательных примеров в обучающий набор для самостоятельного обучения модели.
2. Ансамбли моделей – использование комбинации нескольких моделей в целях затруднения обмана всей системы;
3. Мониторинг и ограничение запросов – контроль частоты и характера запросов к модели для предотвращения атак.

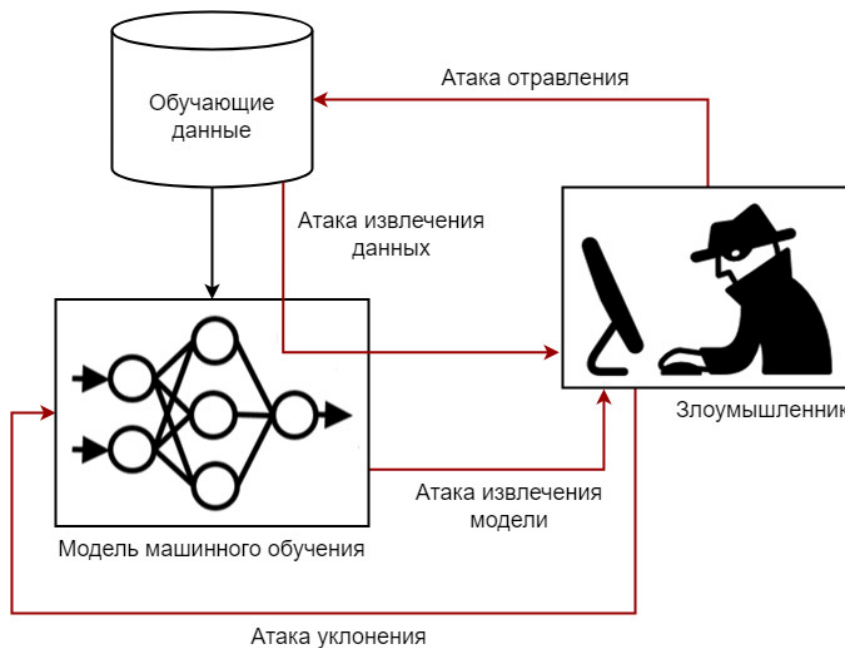


Рис. 2. Типы состязательных атак в моделях машинного обучения

Для обеспечения безопасности конвейера целесообразно выполнять ряд следующих мероприятий: аудит кода и процессов, контроль доступа пользователей, мониторинг и алертинг.

Особое место в обеспечении безопасности машинного обучения при проектировании и внедрении интеллектуальных систем принятия решений занимает нагрузочное тестирование. Оно является критически важным в разработке и эксплуатации систем и позволяет оценить производительность, масштабируемость, стрессоустойчивость системы. В контексте интеллектуальных систем принятия решений нагрузочное тестирование определяет, сколько одновременно работающих запросов система может адекватно обрабатывать без ухудшения производительности. Также в контексте безопасности интеллектуальных систем данный вид тестирования служит дополнительным слоем защиты за счет выявления и исправления потенциальных уязвимостей, которые могут эксплуатировать злоумышленники.

В связи с наличием большого количества негативных факторов, оказывающих влияние на модели машинного обучения, актуальным становится вопрос автоматизации их защиты. Наибольшее распространение по состоянию на текущий момент получили следующие средства автоматизации:

1. Adversarial Robustness Toolbox (ART) – библиотека для генерации и обнаружения состязательных атак, тестирования устойчивости моделей; используется для автоматического обнаружения бэкдоров и аномалий в нейронных сетях.



2. Кластеризация активаций DNN – анализируются выходы скрытых слоев нейронных сетей для выявления аномалий; позволяет выявлять датасеты, которые содержат потенциально вредоносные данные.

Отдельно стоит отметить работу с большими языковыми моделями. Ключевая особенность – их способность хранить и случайно воспроизводить информацию, которую она получила ранее [6], например, от других пользователей. Поэтому перед обучением таких моделей важно очищать данные от таких элементов и проверять их на актуальность. Кроме того, автоматизация процесса проверки данных с использованием специализированных инструментов снижает вероятность ошибок и утечек данных.

### **Заключение**

Обеспечение безопасности в машинном обучении при проектировании и внедрении интеллектуальных систем принятия решений – постоянный процесс, требующий постоянного мониторинга на каждом этапе разработки и внедрения моделей. Ряд современных угроз, таких как состязательные атаки и утечки данных через компоненты открытого доступа требуют внедрения комплексных мер защиты. При обеспечении безопасности в машинном обучении при проектировании интеллектуальных систем принятия решений необходимо на постоянной основе внедрять актуальные средства автоматизации, проводить регулярные аудиты систем, обучать устойчивые модели, а также контролировать доступ к моделям машинного обучения.

### **Список использованных источников**

1. Haykin S. *Neural Networks and Learning Machines*. – 3rd Edition. – Pearson, 2018. – 418 p.
2. Serrano L.G. *Grokking Machine Learning*. – Manning Publications, Shelter Island, 2021. – 350 p.
3. Шумский С.А. *Машинный интеллект. Очерки по теории машинного обучения и искусственного интеллекта*. – М., РИОР, 2019.
4. Chip H. *Designing Machine Learning Systems. Iterative Processes for Deployable, Reliable, and Scalable Machine Learning*. – O'Reilly Media, 2022. – 386 p.
5. Peter B., Andrew B., Peter G.. *Practical Statistics for Data Scientists 50+ Essential Concepts Using R and Python*. – 2nd Edition. – O'Reilly Media, 2020. – 361 p.
6. Sebastian R., Yuxi L. (Hayden), Mirjalili Vahid. *Machine Learning with PyTorch and Scikit-Learn*. – Packt Publishing, 2022. – 741 p.

# СИСТЕМА АДАПТИВНОГО ДОСТУПА К СПЕКТРУ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И КОДИРОВАННОГО MAC-ПРОТОКОЛА

Комашинский В.И., Бикбулатов В.Р., Мешков А.С.

ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ,  
г. Санкт-Петербург limontsev2014@yandex.ru

## Введение

Современные системы беспроводной связи сталкиваются с проблемой ограниченного спектра частот и растущей конкуренции за его использование. Технология когнитивного радио (CR) предоставляет перспективные решения для динамического управления спектром, где вторичные пользователи могут использовать свободные спектральные «дыры», не создавая помех основным пользователям (PUs). Для успешной работы когнитивных радиосетей (CRN) важно разрабатывать эффективные механизмы управления доступом к спектру и минимизировать интерференцию.

## Описание системы

Предложить подход к управлению спектром, основанный на применении статистических методов принятия решений и кодированного MAC-протокола. Система использует кодирование Рида-Соломона (RS) и алгоритм информационного разбиения (IDA), чтобы обеспечить отказоустойчивость и эффективное использование спектра показанного на рис. 1. В статье представлена структура системы, модули принятия решений и результаты тестирования предложенного метода [1].

Рассматриваются последние исследования в области когнитивных радиосетей и управления спектром. Основное внимание уделяется четырем функциональным модулям: обнаружение спектра, принятие решений, совместное использование спектра и адаптация [2]. Большинство существующих подходов полагаются на кооперативные методы и использование временных слотов, что ограничивает их гибкость.

## Сегментация каналов для улучшения разрешения считывания



Рис. 1. Сегментация частотных интервалов для формирования подканалов

В данном исследовании предложен метод, который сочетает проактивный и реактивный подходы к управлению спектром и не требует выделенного канала общего управления (ССС). Одним из ключевых компонентов предлагаемой системы является модуль принятия решений на основе анализа иерархий (АНР) [3]. Этот метод широко используется для принятия сложных решений, особенно в случае многокритериальных задач, где требуется учёт различных факторов без строгих числовых оценок. В предлагаемом подходе АНР включает пять основных этапов: структурирование модели решения, ввод альтернатив, установление приоритетов, синтезирование и анализ чувствительности рис. 2.



Рис. 2. Упрощенная структурная схема предполагаемого устройства CR

Для повышения точности и адаптивности процесса принятия решений, АНР дополнен статистическим анализом поведения каналов связи, что позволяет принимать решения на основе как текущих измерений, так и исторических данных о занятости спектра [4]. Моментальные измерения, полученные системой, сопоставляются с историей использования каналов, предоставляя обратную связь для процесса принятия решений. Такой подход помогает учитывать динамические изменения в использовании спектра и адаптировать стратегию выбора каналов в реальном времени.

АНР разбивает задачу выбора лучшего канала на иерархию взаимосвязанных элементов. Вершина этой иерархии представляет собой основную цель – выбор наиболее подходящего канала [5]. На нижних уровнях содержатся критерии и атрибуты, которые помогают оценивать различные параметры спектра и принимать обоснованные решения для определённых условий эксплуатации.

По мере анализа данные обновляются, иерархия адаптируется, что позволяет системе постоянно улучшать свои решения.

Использование АНР с обратной связью показано на рисунке 3 (FАНР) в рамках когнитивных радиосетей позволяет учитывать множество параметров и изменяющихся условий. FАНР предоставляет ранжированный список доступных каналов, распределяя их от лучших до худших, и результаты анализа сохраняются в базе данных для дальнейшего использования [6]. Этот процесс улучшает точность выбора каналов и снижает вероятность ошибок в оценке спектра, что критично для динамичных сетей с высокой нагрузкой.

Предлагаемая система использует протокол MAC с кодированием (Coded-MAC), который включает использование кода Рида-Соломона (RS) для управления процессами связи и мобильности [7]. Протокол дополнительно использует алгоритм информационного рассеивания (IDA) как механизм для повышения избыточности данных и обеспечения устойчивости к потерям пакетов. В системе также используется уникальный идентификатор для каждого устройства когнитивного радио, что позволяет устранять необходимость в выделенном канале общего управления (ССС).

Coded-MAC был протестирован в среде симулятора для оценки работы системы в условиях передачи данных при наличии первичных пользователей (PUs). Кодирование RS играет важную роль в обнаружении и исправлении ошибок, возникающих при передаче данных по различным маршрутам или в пакетном режиме [8]. Это гарантирует надёжность связи даже при частых изменениях спектра, что особенно важно для сетей когнитивного радио, где частые скачки частот могут приводить к потере пакетов.



*Рис. 3. Предполагаемая модель АНР с обратной связью*

RS-код также используется для синхронизации между устройствами когнитивного радио, что позволяет более эффективно управлять передачей данных в условиях изменяющихся частотных диапазонов. Кроме того, использование RS-кода позволяет поддерживать низкий уровень энергопотребления, что особенно важно в условиях мобильности устройств.

Код Рида-Соломона (RS) используется для повышения надёжности передачи данных в системах связи. Независимо от применяемой системы кодирования, будь то CDMA или OFDMA, использование адаптивной прямой коррекции ошибок (FEC), такой как коды Рида-Соломона, широко распространено в беспроводных сетях [9]. В предложенной системе RS-код применяется для коррекции ошибок в передаваемых данных, что позволяет значительно улучшить качество передачи и снизить вероятность ошибок.

В рамках системы реализована модуляция и демодуляция BPSK, которая используется для передачи данных через канал с добавлением аддитивного белого гауссова шума (AWGN) [10]. В результате демодуляции и декодирования двоичных данных становится очевидно, что кодирование RS значительно снижает вероятность ошибки по сравнению с не кодированными данными.

Система позволяет передавать данные с высокой степенью надёжности даже в условиях сложной среды передачи, где частотные диапазоны могут быть заняты другими пользователями. Применение кода RS (15, 9) продемонстрировало значительное улучшение коэффициента ошибок по битам (BER) и устойчивость к потерям пакетов.

## Заключение

Предлагаемая система когнитивного радио с динамическим доступом к спектру (DSA), использующая АНР для принятия решений и протокол Coded-MAC, обеспечивает надёжную и эффективную передачу данных. Использование алгоритмов коррекции ошибок и механизмов информационного рассеивания позволяет повысить устойчивость сети к изменениям в спектре, снизить вероятность ошибок и улучшить общую производительность системы.

Благодаря многоатрибутивному подходу на основе АНР, система может принимать более точные решения относительно выбора оптимальных каналов, основываясь как на текущих данных, так и на исторических закономерностях использования спектра. Такой гибкий подход минимизирует интерференцию и обеспечивает плавное переключение между каналами, что особенно важно для многопользовательских и многозадачных сред, где быстрое и эффективное управление спектром критично для стабильной работы сети.

## Список использованных источников

1. Бушмелева К.И. Автоматизированная система адаптивного тестирования // *Фундаментальные исследования*. – 2007. – № 2 – С. 16.
2. Маарэф А., Салем М.А., Ма Ц. Система и способ для беспроводной передачи данных с охватом, как лицензированного, так и нелицензированного спектров. – 2018.
3. Петров В.П. Алгоритмы оценки пространственного спектра в адаптивных цифровых антенных решётках // *Вестник СибГУТИ*. – 2014. – № 4 (28). – С. 60–70.
4. Гудкова И.А., Самуйлов К.Е. К разработке модели схемы совместного доступа к ресурсам беспроводной сети с адаптивной скоростью обслуживания пользователей // *Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем*. – 2017. – С. 116–118.
5. Косичкина Т.П. и др. Когнитивные сверхширокополосные радиосистемы как метод повышение эффективности использования радиочастотного спектра // *T-Comm-Телекоммуникации и Транспорт*. – 2015. – Т. 9. – № 12. – С. 37–43.
6. Наumenко А.П., Кудрявцева И.С., Одинец А.И. Вероятностно-статистические методы принятия решений: теория, примеры, задачи. – 2018.
7. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: теория принятия решений : учебник. – Издательство «Проспект», 2014.
8. Дроздова В.Г. Имитационное моделирование характеристик MAC-протокола WiMAX с учётом реальных условий // *Вестник СибГУТИ*. – 2011. – № 1. – С. 37–45.
9. Дроздова В.Г. Адаптация метода баланса интенсивностей нагрузок для решения задач оценки эффективности MAC-протокола сетей 5G // *Телекоммуникации*. – 2020. – № 10. – С. 34–41.
10. Архипкин А. Стандарт WiMAX: техническое описание, варианты реализации и специфика применения // *Беспроводные технологии*. – 2006. – № 3. – С. 14–17.

# АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ПРЕОБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

*Миронов С.А.<sup>1</sup>, Азарной Р.В.<sup>2</sup>, Савченко А.Ю.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», адъюнкт,  
*e-mail: born979777@gmail.com*

<sup>2</sup> ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», адъюнкт  
*e-mail: roman.azarnoy@yandex.ru*

<sup>3</sup> ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,  
доцент кафедры, *e-mail: savaau@mail.ru*

## **Введение**

В настоящее время актуальной задачей для авиации является повышение надёжности образцов авиационной техники, что напрямую влияет на эффективность её применения. Одно из направлений решения данной задачи является расширение перечня диагностируемых в режиме реального времени и резервируемых элементов бортового оборудования воздушных судов. В то же время сделать это без массогабаритных потерь не представляется возможным, говоря о структурном резервировании.

Решить данное противоречие позволит применение технологий искусственного интеллекта. Разработанный алгоритм диагностирования и резервирования информационно-преобразующих элементов бортового оборудования основан на применении искусственных нейронных сетей.

## **Описание алгоритма**

Для обособления в отдельную категорию перечня элементов БО, входящих в состав комплекса бортового оборудования (КБО) ВС, и выполняющих свои функции путем получения, обработки (преобразования) и передачи информации через шину интерфейса магистрального последовательного системы электронных модулей, введено понятие «информационно-преобразующие элементы» (ИПЭ). Возникший в полете отказ возможно устранить только применяя структурное резервирование, которое значительно ухудшает массогабаритные характеристики, более того, применяемые методы резервирования на борту воздушного судна охватывают не весь перечень ИПЭ.

Для расширения перечня резервированных ИПЭ требуется бортовая система контроля работоспособности, осуществляющая контроль в режиме реального времени и обеспечивающая глубину места поиска отказа до конструктивно-съемной единицы. Применяемые АСК не удовлетворяют таким требованиям.

В результате анализа научных работ в области диагностики и резервирования элементов и систем бортового оборудования было установлено, что применение методов искусственного интеллекта позволит реализовать унифицированную систему диагностирования и резервирования всего перечня ИПЭ, входящего в состав комплекса бортового оборудования (КБО) и функционирующего в рамках единой информационной сети посредством мультиплексного канала информационного обмена (МКИО).

В этой связи, был разработан алгоритм диагностирования и резервирования ИПЭ на основе искусственных нейронных сетей (ИНС), объединяющий в себе задачи диагностирования и резервирования ИПЭ. Способность искусственных нейронных сетей (ИНС) обучаться практически любым функциональным зависимостям позволяют на их основе создавать диагностические модели для каждого ИПЭ БО, функционирующего посредством МКИО. Реализация вышесказанного позволит не только диагностировать в режиме реального времени ИПЭ БО, но и резервировать диагностируемые ИПЭ, или их основные функции, нейронными сетями, что значительно улучшит массогабаритные характеристики, если говорить о структурном резервировании, как наиболее эффективном из применяемых методов резервирования.

В рамках исследования возможностей применения ИНС в области диагностики и резервирования ИПЭ БО была предложена функциональная модель диагностирования и резервирования ИПЭ БО на основе ИНС, представленная на рис. 1.

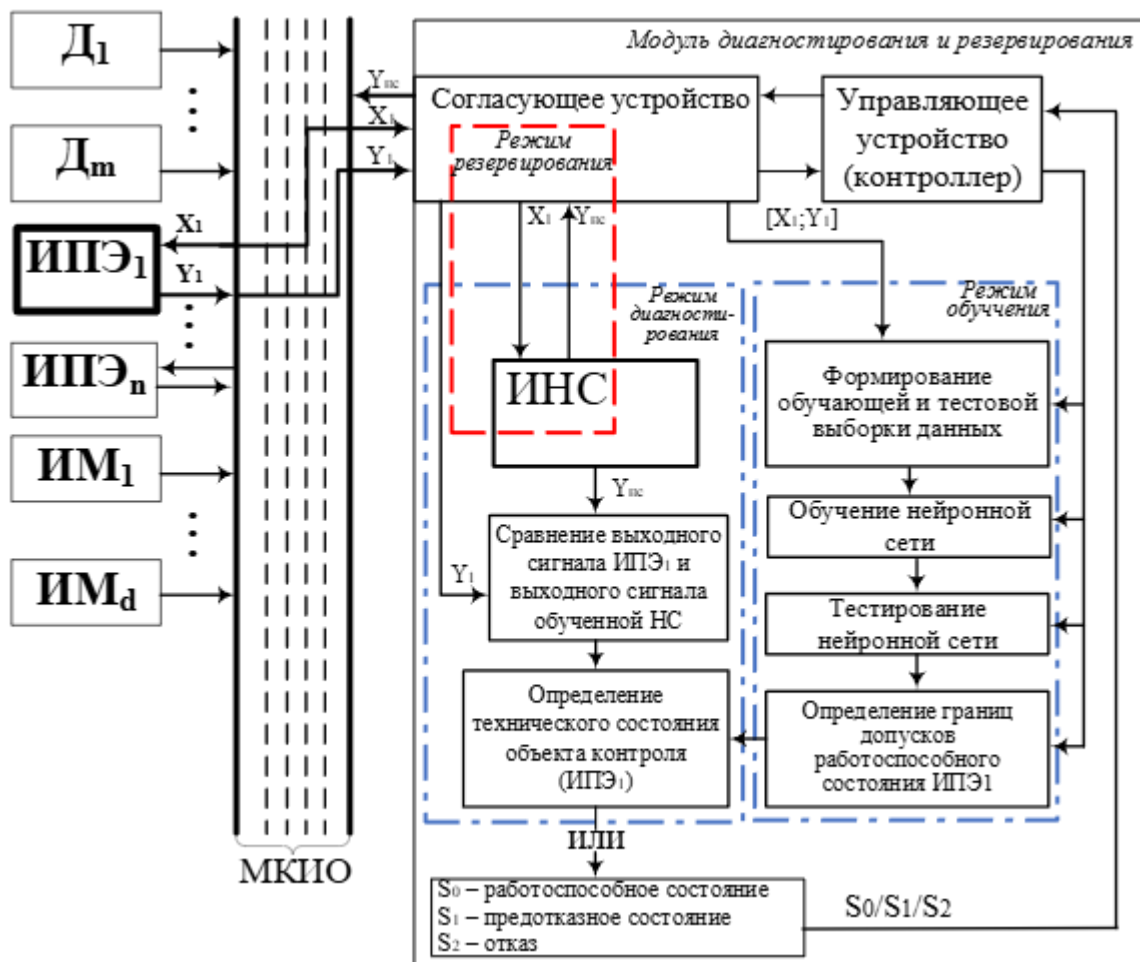


Рис. 1. Функциональная модель диагностирования и резервирования ИПЭ БО АТ

На рис. 1:  $D_1 - D_m$  – датчики КБО,  $ИПЭ_1 - ИПЭ_n$  – информационно преобразующие элементы КБО,  $ИМ_1 - ИМ_d$  – исполнительные механизмы КБО,  $X_1$  и  $Y_1$  – множество входных и выходных сигналов  $ИПЭ_1$  соответственно, МКИО – мультиплексный канал информационного обмена,  $Y_{НС}$  – выходной сигнал нейронной сети.

На основе представленной функциональной модели был разработан алгоритм диагностирования и резервирования ИПЭ БО на основе искусственных нейронных сетей. Данный алгоритм условно разделён на две блок-схемы:

- блок-схема создания и обучения модели нейронной сети с оптимальными гиперпараметрами (рис. 2);
- блок-схема диагностирования и резервирования ИПЭ на основе полученной модели нейронной сети (рис. 3).

Определение пространства поиска гиперпараметров на рис. 2 – определение границ значений этих параметров, в рамках которых по определенному методу, в нашем случае на основе байесовской оптимизации, будут определяться оптимальные значения этих гиперпараметров.

Разделим понятия гиперпараметры и параметры модели нейронной сети [1]:

- параметры настраиваются в процессе обучения модели на данных обучающей выборки. К параметрам модели нейронной сети относятся веса между нейронами;
- гиперпараметры – это характеристики модели, которые фиксируются до начала обучения и остаются неизменными в дальнейшем, к ним относятся: число нейронов в слое, функция активации нейронов, алгоритм обучения, скорость обучения, целевая функция потерь.

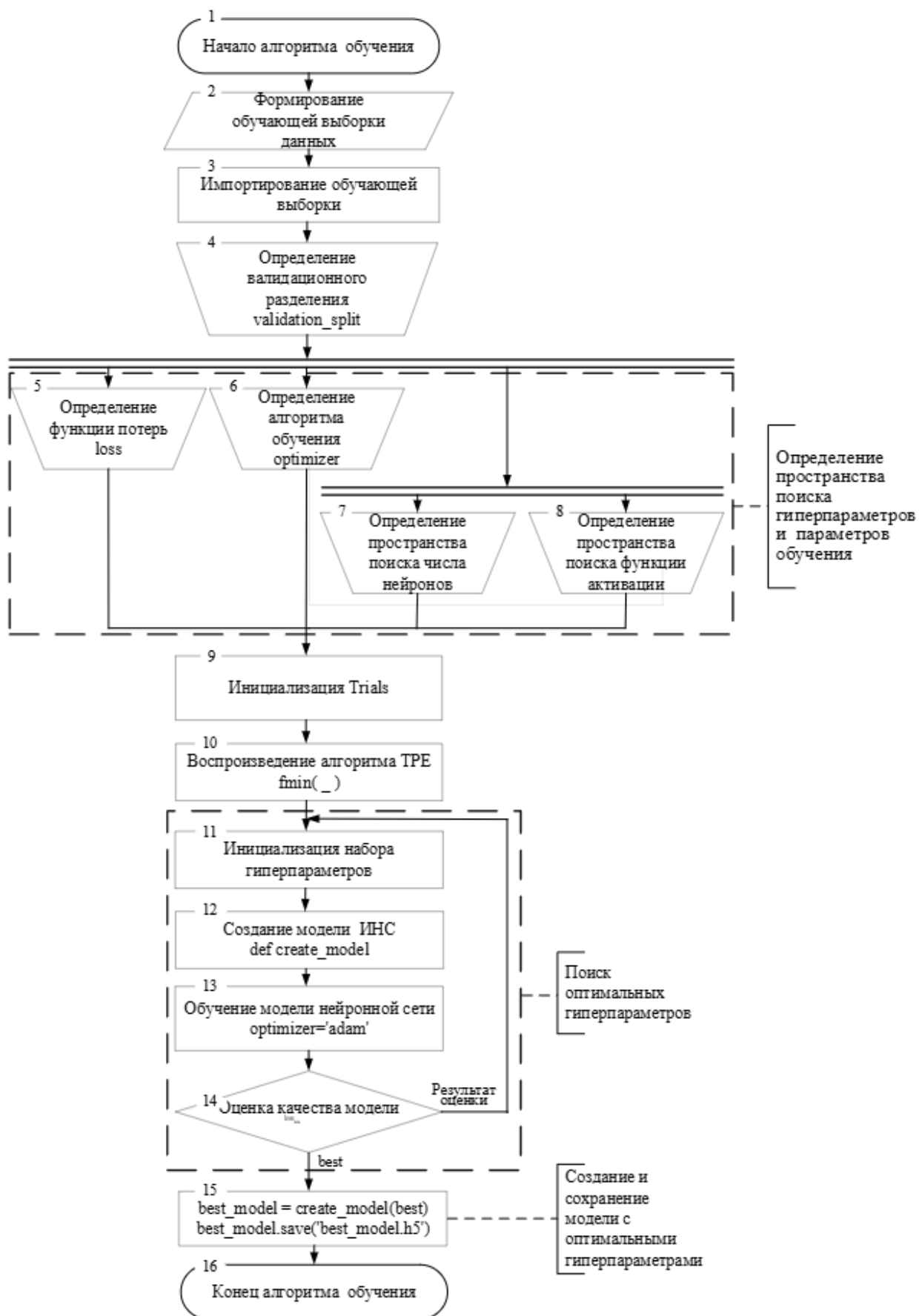


Рис. 2. Блок-схема алгоритма создания и обучения ИНС



В данном алгоритме поиск оптимальных гиперпараметров осуществляется с помощью алгоритма Tree-structured Parzen Estimator (ТРЕ), который реализован на основе байесовской оптимизации, но имеет значительные отличия.

Алгоритм ТРЕ, как и алгоритм байесовской оптимизации, итерационный: на каждой итерации принимается решение о том, какие следующие значения гиперпараметров нужно выбрать, исходя из результатов предыдущих итераций.

Для каждого набора гиперпараметров, которые инициализировал алгоритм ТРЕ, создается модель нейронной сети, которая обучается с помощью оптимизатора Adam. Итогом обучения становится оценка качества полученной модели на валидационной выборке. Критерием оценки является средне-квадратичное отклонение - *mean\_squared\_error* «предсказанного значения» функции (выходных данных) нейронной сетью и целевым значением. Эта оценка учитывается в алгоритме ТРЕ, как уже было сказано, для обновления следующей группы гиперпараметров.

Так происходит циклическое обучение моделей нейронной сети с различными гиперпараметрами. Итогом алгоритма является вывод оптимальных гиперпараметров нейронной сети для решения конкретной задачи – функционирование в режиме ИПЭ, на выборке данных которого (входные и выходные данные ИПЭ) она обучалась. Программа создает и сохраняет итоговую модель обученной нейронной сети.

Полученная модель применяется для реализации второй части общего алгоритма: алгоритма диагностики и резервирования ИПЭ БО на основе ИНС рис. 3.

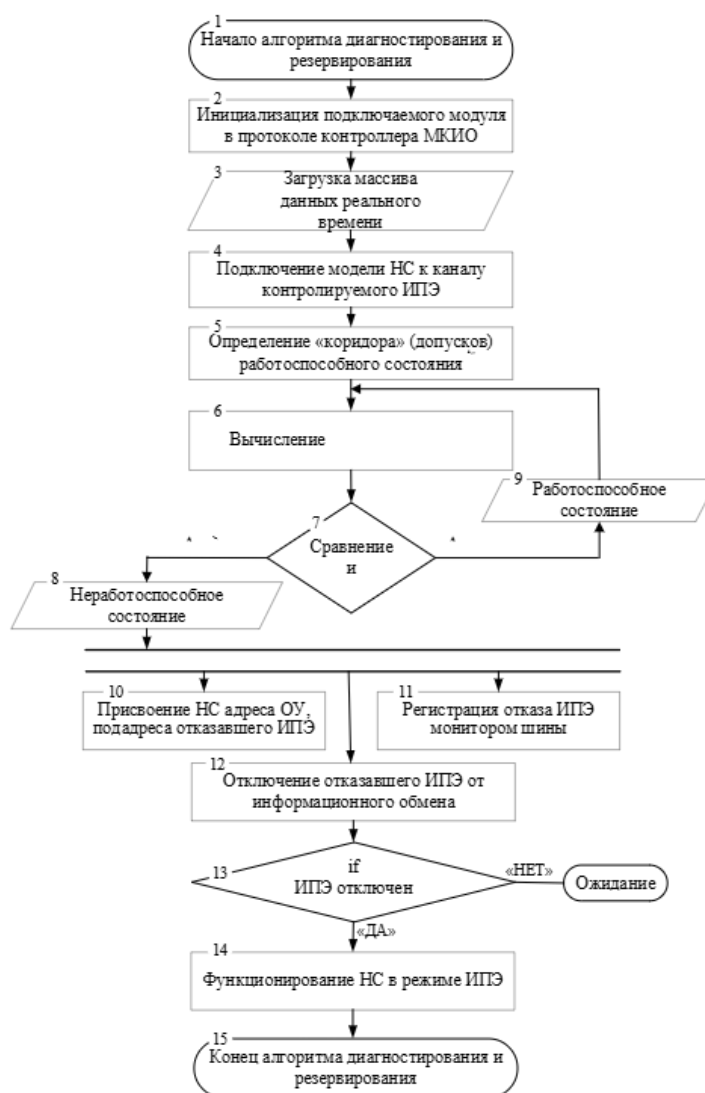


Рис. 3. Алгоритм диагностирования и резервирования ИПЭ БО на основе ИНС

В режиме реального времени осуществляется постоянное вычисление значения  $\Delta_{\Phi}$  (1) - фактического отклонения выходного сигнала ИПЭ от выходного сигнала ИНС, измеряемое в процентах, и его сравнение с установленным значением  $\Delta_{уст}$ .

$$\left| \frac{Y_{ИПЭ}}{Y_{НС}} - 1 \right| \times 100\% = \Delta_{\Phi}$$

где  $Y_{ИПЭ}$  и  $Y_{НС}$  - выходной сигнал ИПЭ и НС соответственно.

Если фактическое отклонение  $\Delta_{\Phi}$  не превышает установленного, то принимается решение что ИПЭ находится в работоспособном состоянии, в случае обратного – принимается решение об отказе резервируемого ИПЭ.

В случае отказа контролируемого ИПЭ, осуществляется регистрация отказа монитором шины с выводом соответствующей информации в бортовые автоматизированные средства контроля (БАСК), контроллеру шины (КШ) [2] и индикация экипажу. Контроллер присваивает подадрес ИПЭ нейронной сети для её дальнейшего функционирования в составе КБО, так как выходные данные ИПЭ используются в других системах бортового оборудования.

После чего, КШ осуществляет отключение отказавшего ИПЭ от информационного обмена, с дальнейшей командой контроллеру модуля диагностики и резервирования на включение выходного сигнала НС в информационный обмен с подадресом отказавшего ИПЭ.

Результатом выполнения данного алгоритма, в случае отказа ИПЭ, станет функционирование нейронной сети в режиме реального времени вместо отказавшего ИПЭ.

#### Экспериментальное исследование разработанного алгоритма ТД

Точность функционирования НС была подтверждена полунатурным экспериментом (рис. 4), в котором проводилось резервирование блока ЭРД-ЗВМ с помощью нейронной сети, обученной функционированию данного блока. Моделирование производилось в среде Simulink. Результатом эксперимента стало подтверждение возможности реализации диагностирования и резервирования ИПЭ БО на основе ИНС. При этом относительная погрешность обученной нейронной сети при функционировании в режиме отказавшего ИПЭ составила 1,2 %.

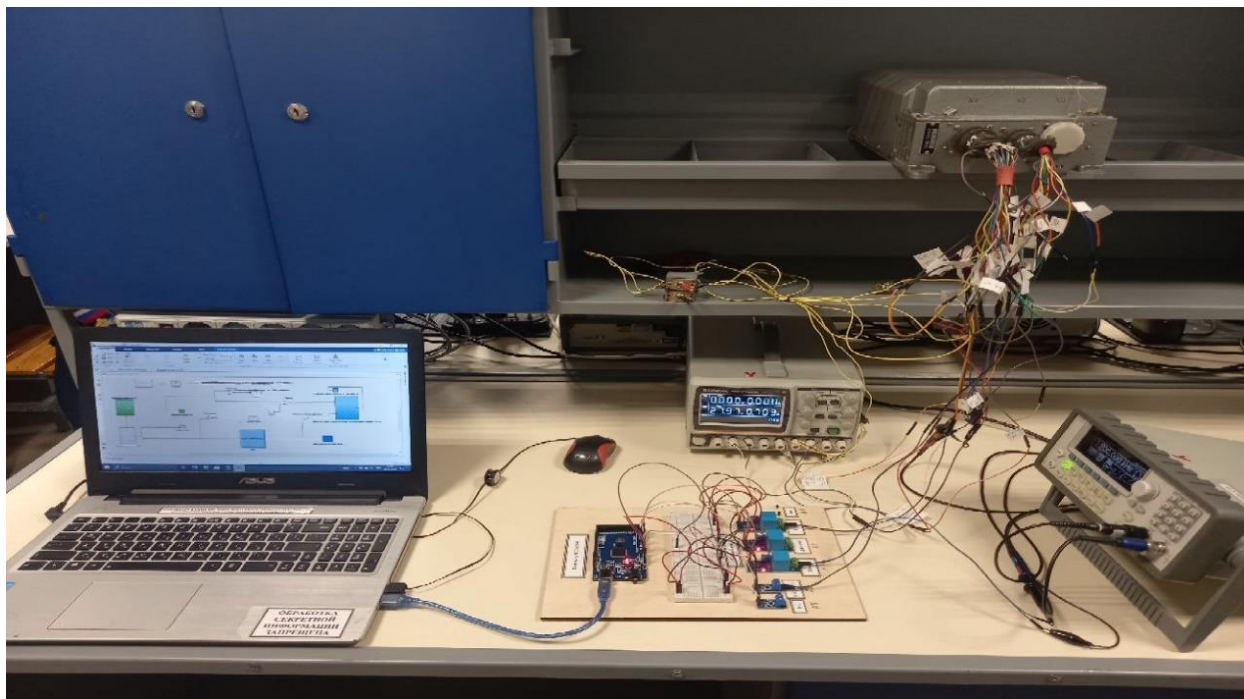


Рис. 4. Экспериментальный стенд

## **Заключение**

Таким образом, был разработан алгоритм диагностирования и резервирования ИПЭ КБО воздушных судов, позволяющий в режиме реального времени в полёт осуществлять диагностирование и резервирование ИПЭ. Применение данного алгоритма позволит повысить надёжность авиационной техники расширением числа диагностируемых и резервируемых ИПЭ, увеличить коэффициент технической готовности авиационной техники снижая время поиска места отказа.

Данный алгоритм позволяет реализовать гибкую унифицированную бортовую систему диагностирования и резервирования ИПЭ, функционирующую посредством МКИО, с глубиной поиска места отказа до конструктивно-съёмной единицы, без массогабаритных потерь.

## **Список использованных источников**

1. Елистратова Е. Подбор гиперпараметров // Учебник по машинному обучению // Электронный учебник – 11.10.2022 [Электронный ресурс]. – URL: <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/podbor-giperparametrov> (дата обращения 28.04.2024).
2. ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Общие требования. – Вед. 2004-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 23 с.

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ВЫБОРА СЫРЬЯ, ТЕХНОЛОГИИ И ЕЕ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЖИДКИХ БИОТОПЛИВ

*Свириденко А.С.<sup>1</sup>, Глушков Д.О.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Томский политехнический университет, аспирант ИШФВП, e-mail: ass125@tpu.ru*

<sup>2</sup> *Томский политехнический университет, профессор ИШФВП, e-mail: dmitriyog@tpu.ru*

## **Введение**

В последние годы, в связи с ростом добычи ископаемых топлив, мировое сообщество все больше обеспокоено глобальным потеплением. Согласно статистике [1], транспортный сектор находится на третьем месте по выбросам в атмосферу, из которых на наземный транспорт приходится около 80%, а на авиационный сектор не более 7 % [2]. Для авиации характерны более существенные трудности в практической реализации мероприятий по достижению углеродной нейтральности. Кроме того, было доказано, что циклы посадки и взлета воздушных судов вносят существенный вклад в ухудшение экологической обстановки и увеличение сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний [3]. Таким образом декарбонизация авиационного сектора становится важной задачей в контексте глобальных усилий по снижению выбросов загрязняющих веществ и борьбе с климатическими изменениями. Одним из перспективных мероприятий, направленных на интенсификацию декарбонизации, является использование биомассы для получения авиационного топлива и интеллектуальных систем, позволяющих обеспечить эффективный выбор сырья, технологии и ее параметров.

Целью работы является создание цифровых двойников процесса получения композиционных биотоплив топлив на основе перспективных компонентов растительного происхождения.

## **Основная часть**

Прогнозирование физико-химических свойств устойчивого авиационного топлива на основе химических данных с применением машинного обучения представляет относительно быстрый способ предварительного скрининга практического потенциала новых технологий и получаемых продуктов – жидких топлив. В настоящее время основными видами биосырья, которые могут рассматриваться в качестве альтернативы нефтяному сырью, являются растительные масла: рыжиковое, талловое, рапсовое и отработанные пищевые масла. Одним из возможных вариантов получения биотоплива из растительного масла является процесс синтеза Фишера-Тропша. Однако внедрение таких процессов в существующую инфраструктуру нефтеперерабатывающих заводов не предоставляется возможным, когда для производства конечного продукта используется только растительное масло. В связи с этим необходимо рассматривать смесевое сырье на основе растительных масел и вакуумного газойля в разных соотношениях, которое будет перерабатываться в хамках процессов каталитического крекинга и гидрокрекинга.

Рассматривая машинное обучение применительно к процессу получения топлива, его можно разделить на три этапа – обучение, валидация и тестирование. На первом этапе идет использование базы данных для обучения алгоритма и выявления неизвестных шаблонов данных. На данном этапе нейросеть получает доступ к входным и выходным параметрам и на основе этих данных учиться делать прогнозы. Второй этап включает в себя использование неизвестного ранее набора данных в целях корректировки алгоритма для повышения точности и производительности. Заключительным этапом является тестирование, на данном этапе нейросеть использует другой набор данных для прогнозирования, после чего происходит сравнение с фактическими результатами и измеряется точность прогнозирования.

Исходя из вышеперечисленного можно обозначить несколько этапов, необходимых для обучения нейросети и дальнейшего прогнозирования. На первом этапе необходимо провести исследования сырья и конечных продуктов, а именно изучение компонентного состава и физико-химических свойств (таблица 1).

Второй этап состоит в исследованиях, направленных на изучение технологических процессов переработки сырья в конечный продукт (топливо), а именно выстраивания взаимосвязей между использованием сырья, технологических режимов и выход биотоплива, а также изучение химического состава и дальнейшее сравнение с применяемыми топлив нефтяного происхождения конечных биопродуктов (рис. 1).

## Физико-химические свойства биосырья

Растительные масла	Вязкость, мм <sup>2</sup> /с	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температура замерзания, °С	Температура помутнения, °С	Теплота сгорания, МДж/кг	Кислотное число, мг КОН/г	Доля мыла в составе масел, %	Содержание влаги и летучих в составе масел, %	Доля неомыляемых веществ в составе, %
Рыжиковое масло	63,01	916	-21	-14	36,524	1,031824	0	0,2069	0,5167
Рапсовое масло	77,19	915	-20,5	-16	35,625	0,8949	0	0,1417	0,9370
Кулинарное масло	78,69	910	-19,5	-15	39,256	0,8423	0	0,2263	0,3522
Талловое масло	57,70	925	-23,5	-16	40,524	0,87567	0	0,1867	0,9675

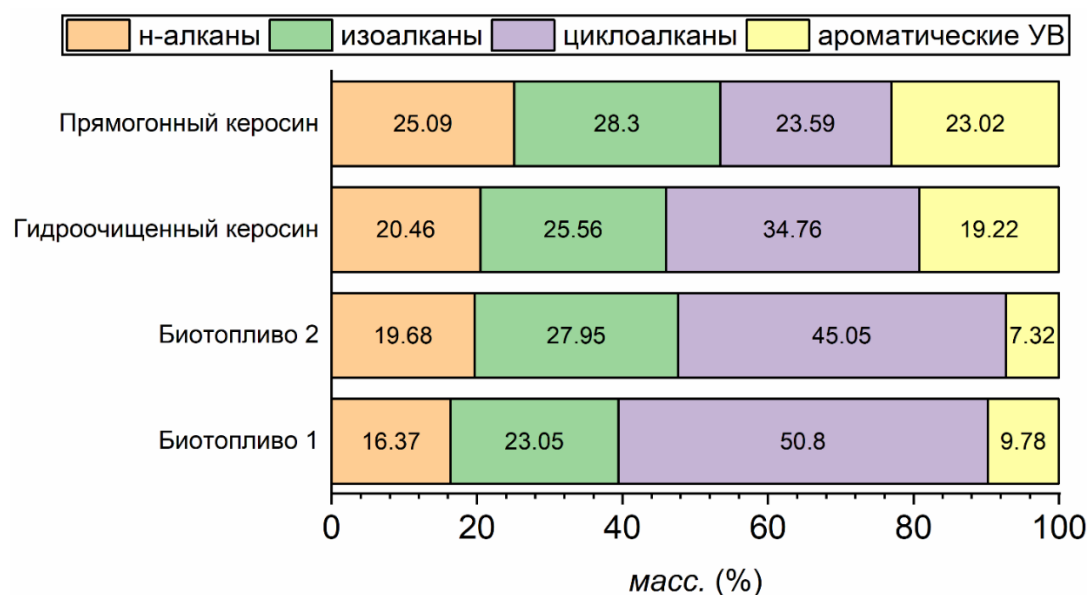


Рис. 1. Состав протестированных топлив в соответствии с органической классификацией.

Также необходимо учитывать экономические ограничения: стоимость сырья, доступность ресурсов, длительность синтеза для более достоверного прогнозирования параметров перспективного метода получения биотоплива.

Заключительный этап состоит в разработке базы данных для дальнейшего обучения нейросети систем выбора сырья, технологии и ее параметров для получения жидких биотоплив, а также успешного прогнозирования основных характеристик (рис. 2).

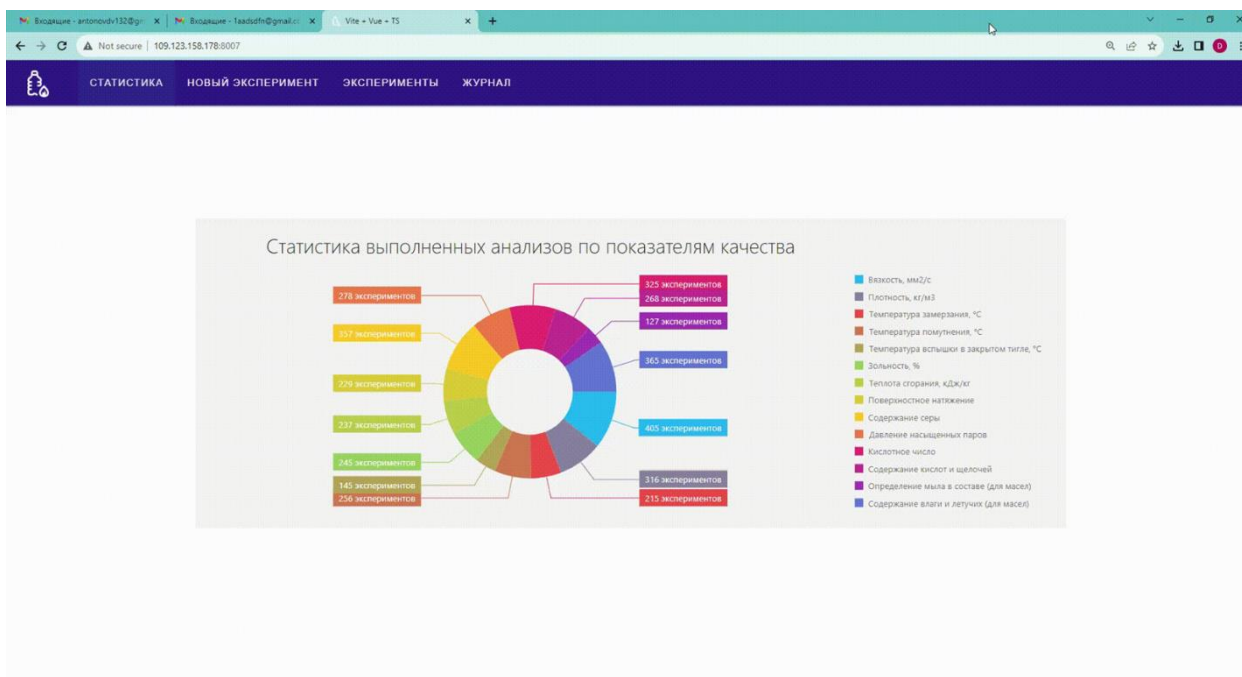


Рис. 2. Нейросетевая модель выбора сырья для получения биотоплива.

## Заключение

В работе приведены необходимые этапы для прогнозирования физико-химических свойств устойчивого авиационного топлива на основе химических данных с применением машинного обучения. Использование нейросетевых алгоритмов на основе сформированной базы данных позволяет предсказать при выборе определенного сырья необходимые технологические процессы и их режимы работы для производства биотоплива с максимально возможным выходом конечного продукта.

Исследования выполнены в рамках проекта ПИИ-НИР-2024-009 (соглашение № 075-15-2022-1146 от 07.07.2022).

## Список использованных источников

1. Crippa M., Guizzardi D., Pagani F., Banja M., Muntean M., Schaaf E., Becker W., Monforti-Ferrario F., Quadrelli R., Risquez Martin A., Taghavi-Moharamli P., Köykkä J., Grassi G., Rossi S., Brandao De Melo J., Oom D. et al. Ghg Emissions of All World Countries // Publications Office of the European Union. – 2023. – 134 p.
2. General D. Экономический и Социальный Совет. – 2024. – Vol. 30, № 3.
3. Ansell P.J. Review of sustainable energy carriers for aviation: Benefits, challenges, and future viability // Prog. Aerosp. Sci. Elsevier Ltd, 2023. – Vol. 141. – P. 100919.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Селин А.И.

ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ,  
г. Санкт-Петербург, selin.a@list.ru

## Введение

Целью данной работы является исследование машинного обучения в системах принятия решений для улучшения процессов принятия решений и повышения их качества, а также анализ эффективности и результативности использования машинного обучения в различных отраслях [1].

## Описание работы системы

Применение методов машинного обучения для обработки и анализа больших данных изначально производит сбор и подготовку данных для машинного обучения (рис. 1). Это включает в себя идентификацию и сбор данных из различных источников, таких как базы данных, файлы, API, опросы и сенсоры [2].



Рис. 1. Сбор и подготовка данных для машинного обучения

Собранные данные могут включать различные типы, такие как:

1. Числовые данные: непрерывные или дискретные значения, например, температура, цены на акции или рейтинги клиентов.
2. Категориальные данные: дискретные значения, которые принадлежат к определенной категории, например, пол, профессия или категории продуктов.
3. Текстовые данные: неструктурированные данные, например, отзывы клиентов, посты в социальных сетях или статьи.

Для обеспечения качества данных необходимо обработать пропущенные значения, решив каким образом обработать пропущенные значения, например имитировать, интерполировать или удалить их; удалить дубликаты записей, чтобы предотвратить избыточность данных; обнаружить и исправить

ошибки данных, например, выбросы или недействительные значения; а также преобразовать данные в подходящий формат в подходящий формат для машинного обучения, например, нормализовать или масштабировать числовые данные, закодировать категориальные переменные или преобразовать текстовые данные в числовые представления. Кроме того, данные необходимо предобработать для машинного обучения, что может включать нормализацию или масштабирование данных, кодирование категориальных переменных и преобразование данных в подходящий формат для выбранного алгоритма.

Далее необходимо выбрать подходящий алгоритм машинного обучения для решения задачи. Он включает в себя четкое определение задачи, которую необходимо решить, включая тип задачи, такие как классификация, регрессия или кластеризация, и метрики производительности, которые необходимо оптимизировать, и оценку алгоритма, рассматривая факторы типа алгоритма, сложность алгоритма, тип данных, вычислительные ресурсы и интерпретируемость. В этом случае алгоритм случайного леса был выбран из-за его способности обрабатывать большие наборы данных (рис. 2), устойчивости к выбросам и шуму, способности обрабатывать несколько типов данных и высокой точности и производительности.

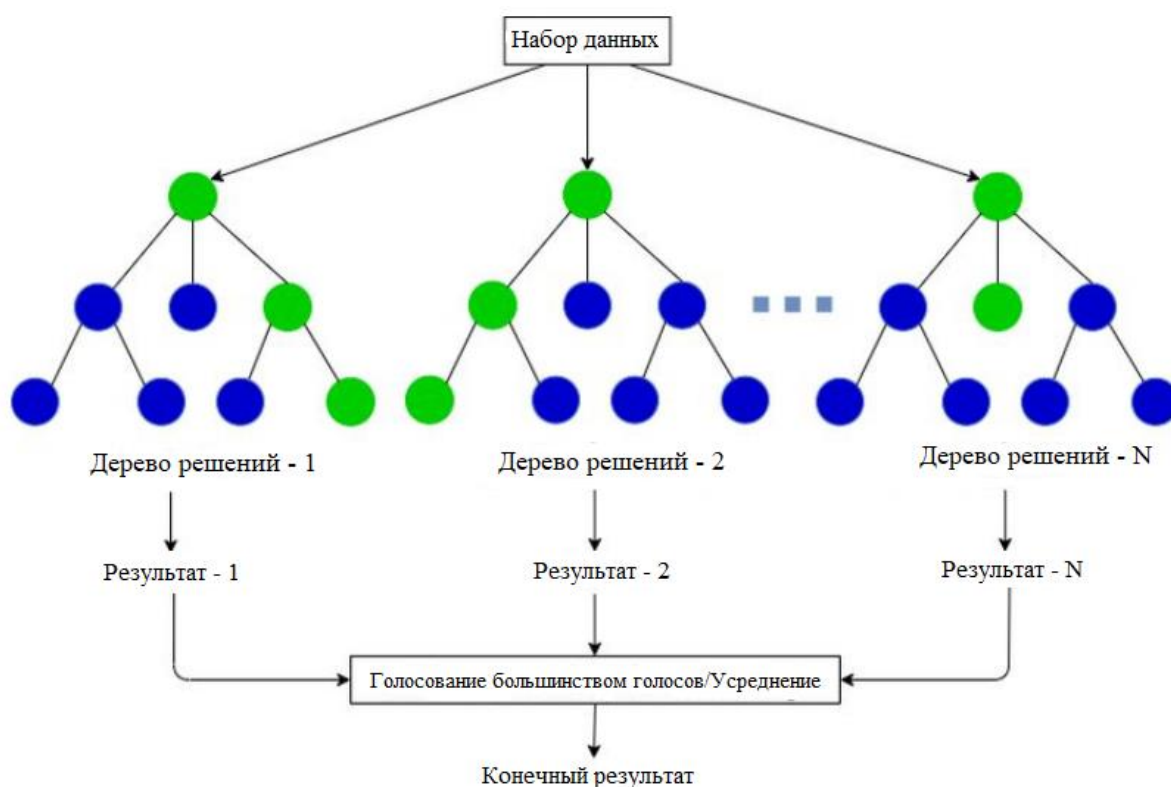


Рис. 2. Алгоритм случайного леса

Алгоритм случайного леса основан на идее объединения множества деревьев решений для получения более точного и устойчивого результата. Каждое дерево решений обучается на случайном подмножестве данных и выбирает случайный набор признаков для каждого раздела. К примеру, использовать для решения задач таких как:

1. Классификация изображений;
2. Классификация текстов;
3. Классификация клиентов по их поведению.

После выбора алгоритма следующим шагом является обучение модели с помощью подготовленных данных [3]. Настройку алгоритма случайного леса производят, определив гиперпараметры, которые необходимо настроить, выбор метода настройки гиперпараметра, также определить параметры для настройки, такие как диапазоны значений для каждого гиперпараметра, создать объект настройки, и



передать ему параметры для настройки, после обучить модель на данных с помощью объекта настройки.

Когда произведена настройка алгоритма случайного леса следует произвести установку числа деревьев, учесть максимальную глубины деревьев, числа признаков, которые необходимо учитывать при каждом разделе, и скорости обучения [4]. Затем модель обучается на обучающем наборе, и ее производительность оценивается на валидационном наборе. Гиперпараметры настраиваются для оптимизации производительности модели.

Когда модель обучена можно переходить к тестированию ее производительности на отдельном тестовом наборе данных. Воспроизводится сбор новых, не виденных ранее данных и предобработку их в том же виде, что и обучающий набор. Затем производительность модели оценивается на тестовом наборе данных, вычисляя метрики производительности, такие как точность, полнота и отзыв, и сравнивая ее с базовой линией или эталоном.

Этот шаг помогает определить области для улучшения и предоставляет информацию о производительности модели. Последний шаг – это анализ результатов модели и генерация выводов из данных. Это включает в себя интерпретацию результатов модели (идет процесс преобразования численных результатов модели в понятные и значимые выводы, которые могут быть поняты не только специалистами в области машинного обучения, но и другими заинтересованными лицами), анализ метрик производительности, помогающие оценивать, насколько хорошо модель выполняет свою задачу, и какие области требуют улучшения, определение паттернов и тенденций в данных и выводы о связях между переменными [5]. Выводы, полученные из результатов, могут быть использованы для определения областей для улучшения, рекомендаций действий на основе результатов и предоставления рекомендаций для будущего сбора и анализа данных.

## **Заключение**

В рамках данной работы был рассмотрен процесс применения методов машинного обучения для обработки и анализа больших данных. Определено, что процесс машинного обучения включает в себя несколько шагов, и выбран подходящий алгоритм машинного обучения, в данном случае алгоритм случайного леса, и настроили его гиперпараметры для оптимизации производительности модели. Затем мы обучили модель на обучающем наборе данных и оценили ее производительность на валидационном наборе данных.

Исследование показало, что машинное обучение является мощным инструментом для обработки и анализа больших данных, и что правильный выбор алгоритма и настройка гиперпараметров могут привести к высокой точности и производительности модели.

## **Список использованных источников**

1. Белов Д.Л. Машинное обучение в системах принятия решений. – М. : ДМК Пресс, 2018. – 272 с.
2. Воронцов К.В. Машинное обучение: основы и применения. – М. : Изд-во МГУ, 2017. – 320 с.
3. Дмитриев А.А. Машинное обучение в системах поддержки принятия решений. – СПб. : Изд-во СПбГУ, 2019. – 184 с.
4. Лавренов Р.О. Машинное обучение в системах принятия решений: теория и практика. – М. : Изд-во РУДН, 2018. – 240 с.
5. Хохлов А.В. Машинное обучение в системах управления и принятия решений. – М. : Изд-во МИЭМ, 2019. – 256 с.

# ПЛАНИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Сивакова Т.В.<sup>1</sup>, Судаков В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ИППМ им. М.В. Келдыша РАН, научный сотрудник, e-mail: sivakova15@mail.ru

<sup>2</sup> ИППМ им. М.В. Келдыша РАН, ведущий научный сотрудник, д.т.н., e-mail: sudakov@ws-dss.com

## Введение

Планирование инновационных проектов является достаточно актуальной задачей нашего времени. При этом выполнение заданий никогда не бывает «легким», поскольку отражает любые происходящие процессы, такие как, изменения, связанные с состоянием бюджета, колебания в экономике, конфликты, состояние с эпидемиологической обстановкой и многие другие. Эта неопределённость побуждает руководителей проектов и компании находить непростые способы справляться с неблагоприятными условиями и одновременно распределять ресурсы между рядом проектов.

Планирование проектно-инновационной деятельности является одной из наиболее сложных, поскольку необходимо выполнить работу, о которой нет достаточно точного понимания [1]. С одной стороны, нам нужно, сопоставить проекты, но для этого, как правило, недостаточно сведений для их сравнения. В процессе распределения ресурсов между проектами возникает необходимость учета ряда взаимоисключающих факторов. Применение компьютерной системы поддержки принятия решений способствует ранжированию заявок на проекты в соответствии с заданными критериями, учитывая их приоритетность и выполнимости [2].

Использование подходов и методов искусственного интеллекта позволяет решать многие сложные задачи. Алгоритмы машинного обучения – это форма искусственного интеллекта, которая позволяет делать более точные прогнозы причинно-следственных условий всех видов, будучи способной анализировать сложные выборки данных, превосходящие возможности человека. Машинное обучение имитирует рассуждения человека путем создания нейронной сети, и это оказалось полезным методом для решения сложных проблем, таких как планировании инновационных проектов. Рассмотрим это конкретном примере.

## Описание алгоритма

Пусть  $N$  – число работ;

$i$  – номер работы;

$p_i$  – полезность от выполнения  $i$ -й работы;

$t$  – номер интервала времени (1,2,3,...T);

$T$  – число временных интервалов на которые строится план;

$\tau_i$  – длительность работы;

$k$  – номер вида складываемого ресурса (ресурс, который может быть возобновлен через какое-то время, к такому ресурсу относится финансирование).

$M$  – число видов возобновляемых ресурсов.

$q_k$  – количество ресурса  $k$ -го вида доступное в течение интервала времени  $\Delta_k$ .

При реализации предусмотрено, что пользователь вводит суммарные ресурсы:  $r_k$  и долю неснижаемого запаса ресурса  $c_k$  [3]. Тогда,

$$q_k = r_k - c_k r_k \quad (1)$$

$\rho_{ik}$  – суммарная потребность в  $k$ -м ресурсе  $i$ -й работы;

$l$  – номер вида мощностного ресурса (ресурса пиковое потребление которого нельзя превысить в любой момент времени);

$s_l$  – количество ресурса  $l$ -го вида;

$V$  – число видов мощностных ресурсов;

$v_{il}$  – потребность в  $l$ -м ресурсе  $i$ -й работы.

По таким ресурсам требуется, чтобы в любой момент времени суммарные потребности в этом ресурсе по всем работам не превышали заданного порога  $s_l$ .

Для некоторых работ задана последовательность  $A = \{a_{ij}\}$ :

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 - \text{если } i - \text{я работа должна быть выполнена раньше } j - \text{й} \\ 0 - \text{иначе} \end{cases} \quad (2)$$

$G$  – множество номеров возобновляемых ресурсов по которым надо минимизировать затраты.

Должны быть учтены следующие показатели:

- 1) максимально увеличить суммарную полезность работ;
- 2) минимально уменьшить средневзвешенное время ожидания начала работы (взвешенное по приоритету  $p_i$ );
- 3) привести к минимум затраты некоторых видов ресурсов (например, стоимость).

Целевую функцию выразим через сумму компонент векторного критерия с весами:

$\alpha_i$  – значимость  $i$ -ой компоненты,

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1 \quad (3)$$

Оптимизационные переменные:

$$x_{it} = \begin{cases} 1 & \text{если } i\text{-я работа начинается в } t \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \quad (4)$$

Ограничения по складированным ресурсам:

$$\sum_{e=1+\Delta_k(y-1)}^{\Delta_k y} \left( \sum_{i=1}^N \frac{\rho_{ik}}{\tau_i} \left( \sum_{t=1}^T x_{it} z_{te}(\tau_i) \right) \right) \leq q_k \text{ для } \forall k \in (1..M) \text{ и } \forall y \in \left( 1.. \frac{T}{\Delta_k} \right), \quad (5)$$

где

$$z_{te}(\tau_i) = \begin{cases} 1 & \text{если } t \leq e < t + \tau_i \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \quad (6)$$

По мощностным ресурсам введены следующие ограничения:

$$\sum_{i=1}^N v_{il} \left( \sum_{t=1}^T x_{it} z_{te}(\tau_i) \right) \leq s_l \text{ для } \forall l \in (1..V) \text{ и } \forall e \in (1..T) \quad (7)$$

Ограничения, связанные с последовательностью выполнения работ:

$$\sum_{i=1}^N \left( \frac{a_{ij}}{\tau_i} \left( \sum_{d=1}^{e-1} \left( \sum_{t=1}^{e-1} x_{it} z_{td}(\tau_i) \right) \right) \right) \geq \left( \sum_{i=1}^N a_{ij} \right) x_{je} \text{ для } \forall j \in (1..N) \text{ и } \forall e \in (1..T) \quad (8)$$

Определим некоторые ограничения на работы.

Одну работу можно начать выполнять не более чем один раз:

$$\sum_{t=1}^T x_{it} \leq 1 \text{ для } \forall i \in (1..N) \quad (9)$$

В случаи если работа не еще выполняется, то нельзя начинать работу до ее завершения:

$$\sum_{t=T-\tau_i}^T x_{it} = 0 \text{ для } \forall i \in (1..N) \quad (10)$$

где

$$x_{it} \in (0,1) \quad (11)$$

Целевая функция:

$$W = \max_{x_{it}} \left( \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T w_{it} x_{it} \right) \quad (12)$$

где

$$w_{it} = \alpha_1 p_i + \alpha_2 p_i \frac{T-t}{T} - \alpha_3 \sum_{k \in G} \frac{\rho_{ik} \Delta_k}{q_k T} \quad (13)$$

Задача оптимизации, ограниченная условиями (11), относится к классу задач дискретного программирования, что существенно усложняет её решение классическими методами математического программирования. Поэтому для решения данной задачи был применен метод машинного обучения – обучение с подкреплением (Reinforcement Learning, RL).

Подход обучения с подкреплением позволяет эффективно решать сложные задачи оптимизации, избегая прямого перебора всех возможных решений. В данном случае, оптимизационная задача, заданная формулировками (5)-(13), была переформулирована в виде задачи обучения с подкреплением. Это подразумевает создание агента, который взаимодействует с окружающей средой (в данном случае – с пространством решений оптимизационной задачи). Агент последовательно принимает решения, выбирая значения для каждой из оптимизационных переменных. Каждый выбор переменной рассматривается как шаг агента в среде.

$$r_{it^*} = w_{it} x_{it} \quad (14)$$

Вектор состояния среды  $S_{it^*}$  состоит из сведений о текущей оптимизационной переменной:

$$S_{it^*} = \begin{pmatrix} i \\ t \\ q_k - \sum_{e=1+\Delta_k(y-1)}^{\Delta_k y} \frac{\rho_{ik}}{\tau_i} \left( \sum_{t=1}^{t^*} x_{it} z_{te}(\tau_i) \right) \\ \dots \\ s_l - v_{il} \left( \sum_{t=1}^{t^*} x_{it} z_{te}(\tau_i) \right) \\ \dots \end{pmatrix} \quad (15)$$

### Заключение

Предложенная подход может использоваться при планировании инновационных проектов с учетом ограничений на ресурсы и в системах, где необходимо учитывать приоритет проектов.

Это открывает новые перспективы в оптимизации сложных вычислительных процессов, традиционно требующих значительных вычислительных ресурсов и времени. В отличие от классических алгоритмов математического программирования, которые часто сталкиваются с проблемами локальных оптимумов и затрудняются в обработке задач высокой размерности, подход на основе машинного обучения предлагает гибкий и адаптивный механизм поиска решений.

Применение данного подхода к задачам исследования операций и поддержки принятия решений открывает широкие возможности для оптимизации различных процессов в самых разных областях. Это может включать оптимизацию логистических цепочек, планирование производственных процессов, управление энергетическими сетями, разработку финансовых стратегий и многое другое. В частности, эффективность машинного обучения с подкреплением проявляется в условиях высокой размерности решаемой задачи и масштабы реализуемых инновационных проектов, где традиционные методы часто оказываются недостаточно эффективными. Например, при планировании крупных инфраструктурных проектов, где необходимо учитывать множество взаимосвязанных факторов, машинного обучения может помочь в оптимизации расписания работ, учета ресурсов и минимизации рисков.

### Список использованных источников

1. Четверушкин Б.Н., Судаков В.А. Факторное моделирование для инновационно-активных предприятий // Математическое моделирование. – 2020. – Т. 32, № 3. – С. 115–126.
2. Методологические основы поддержки принятия решений при планировании научно-прикладных исследований и экспериментов на международной космической станции (МКС) / В.П. Осипов, Т.В. Сивакова, В.А. Судаков [и др.] // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – Т. 9, № 3. – С. 80–88.
3. Судаков В.А., Титов Ю.П. Решение задачи определения времени выполнения работы группой сотрудников с помощью нечетких множеств // Открытое образование. – 2019. – Т. 23, № 5. – С. 74–82.

## СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

*Усачев Н.В.<sup>1</sup>, Ковалев Д.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна (СПбГУПТД, магистр, 529 группа), e-mail: nikodim.usachev@ya.ru

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна (СПбГУПТД, доцент), e-mail: d.a.kovalyov@yandex.ru

### **Введение**

На сегодняшний день большая часть производств обладает современным комплексом автоматизации систем управления, способными своевременно и быстро передавать информацию об объекте управления на операторские станции, с помощью которых персонал может оценивать работу объекта и сделать выводы о стабильности работы системы, ее исправности. Однако, и эти современные методы решений оптимизации работы производства не дают стопроцентной вероятности, что объект будет работать стабильно и без перебоев. Как бы хорошо не было оснащено производство, насколько новое там не использовалось оборудование для обеспечения автоматизации систем управления производством, все в конечном итоге сводится к человеческому фактору. Именно оператор, который получает информацию со станции принимает дальнейшие решения в решении текущих проблем и в установлении характера произошедшей неисправности, на сколько она критична, каким путем ее устранять и т. д.

Однако, для еще большей оптимизации работы систем автоматизации и снижения зависимости от принятия решений непосредственно человеком имеет смысл создание системы оперативного регулирования и управления (СОУиР) объекта управления, которая оценивает текущие показания работы системы в настоящий момент времени автоматически, доставляя информацию и возможные способы решения проблем на экран операторской станции.

Целью является разработка системы оперативного регулирования и управления, которая основана на методах машинного обучения, для предсказания потенциальных аварий и автоматического управления параметрами промышленного объекта. Основной акцент делается на предотвращение аварийных ситуаций с помощью анализа исторических данных.

В качестве объекта управления может рассматриваться любой промышленный объект управления (паровой котел, паро-газовая установка), которая имеет заданные параметры, требующие регулирования.

### **Описание алгоритма**

Система оперативного регулирования и управления необходима для контроля над ключевыми параметрами объекта и их предсказания. Система должна предотвращать аварии путем анализа исторических данных о предыдущих технических сбоях, авариях и т.д..

Идея заключается в создании системы, которая способна анализировать входные и выходные данные, поступающие с промышленного объекта, и выявлять закономерности, предшествующие авариям и неполадкам. Эти данные позволяют системе прогнозировать возможные сбои и корректировать параметры работы объекта для предотвращения аварий.

Методы машинного обучения применяются для анализа исторических данных, включая данные о прошлых авариях и нормальных режимах работы. Модель обучается на этих данных, чтобы предсказывать вероятные проблемы на основании текущих показателей работы [1].

Python используется как основной язык программирования, а Numpy – для обработки данных. Благодаря этим двум компонентам, система оперативного регулирования и управления может совершать обработку большого массива данных [2]. Алгоритм работы СОиУ представлен в таблице 1.

*Алгоритм работы системы оперативного регулирования и управления*

Этап	Описание этапа
Сбор данных	Для обучения модели машинного обучения собираются исторические данные работы объекта, включающие как периоды нормальной работы, так и данные, зафиксированные перед авариями. Входные данные могут включать температурные, давленческие или другие параметры, а выходные – сигналы системы о неисправностях.
Предобработка данных с использованием NumPy	Данные проходят этапы очистки и нормализации для устранения выбросов, пропущенных значений и приведения параметров к единому масштабу. Библиотека NumPy обеспечивает эффективную работу с массивами данных.
Моделирование и прогнозирование	Для прогнозирования используется модель, которая обучается на исторических данных (простая модель линейной регрессии или более сложные алгоритмы, такие как временные ряды). Модель принимает текущие данные с объекта управления и прогнозирует вероятность аварии.
Регулирование параметров объекта	На основе предсказаний система автоматически корректирует параметры объекта для предотвращения аварийных ситуаций, используя заданные правила или алгоритмы управления.

Система после прохождения этапов машинного обучения имеет возможность выдавать прогноз работы объекта управления. Если система обнаружит несоответствие по параметрам, то она даст об этом знать, оповестив об этом оператора станции. Результат прогнозирования демонстрируется на экране операторской станции в виде графика изменения параметров во времени, а также конкретного значения, которое вызвало у системы сомнения [3].

Система оперативного регулирования и управления значительно повышает эффективность работы объекта управления, помогая в выявлении возможных аварийных ситуаций. Внедрение такой системы полезно для предприятий, исключая высокую долю простоев и снижение затрат на ремонт оборудования.

### **Заключение**

Для обеспечения полного и расширенного (глубинного) анализа необходимо снабдить данную систему большим объемом информации, включающее в себя не только данные с первичных измерительных устройств, анамнез конкретных ситуаций с возможными способами решения, но также и дополнительную информацию, такую как о самих устройствах измерения, а также передачи данных. Обеспечение работы СОРИУ – сложная работа, под которой подразумевается исследование технологического процесса объекта управления, классификация и определение множества нештатных ситуаций, которые влекут за собой нестабильную работу системы, разработки диагностической модели, структуры СОРИУ.

### **Список использованных источников**

1. Вьюгин В.В. «Математические основы машинного обучения и прогнозирования». – М. : 2013, 2018. – 484 с.
2. Кульматова Н.А. Обработка больших данных с помощью инструментов Python / Н.А. Кульматова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2023. – № 13 (460). – С. 11–14. – URL: <https://moluch.ru/archive/460/101080/>.
3. Морозова В.И. Прогнозирование методом машинного обучения / В.И. Морозова, Д.И. Логунова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2022. – № 21 (416). – С. 202–204. – URL: <https://moluch.ru/archive/416/92048/>.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПРОСА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ

*Усков К.В.<sup>1</sup>, Грибанов А.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, студент гр. Э-11,  
e-mail: kirillusckow0@gmail.com*

<sup>2</sup> *Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, ЭФ, к.т.н., доцент,  
e-mail: gribanovaa@altgtu.ru*

## **Введение**

Прогнозирование спроса на электроэнергию является важной задачей для энергетических компаний, поскольку позволяет оптимизировать производство и распределение электроэнергии, а также минимизировать затраты и повысить эффективность работы энергосистемы. Одним из ключевых факторов, влияющих на спрос на электроэнергию, являются погодные условия. В данном контексте нейронные сети представляют собой мощный инструмент для анализа данных и выявления сложных и нелинейных зависимостей. Они способны выявлять скрытые закономерности в данных и адаптироваться к изменениям, что делает их особенно эффективными для задач прогнозирования.

## **Основные понятия**

Нейронная сеть (нейросетевая модель) – это искусственная многоуровневая математическая модель, которая имитирует работу человеческого мозга путем использования слоев нейронов для обработки информации. Каждый нейрон принимает входные данные, выполняет некоторые операции по анализу и обработке заложенной информации и передает результаты следующему слою. На выходе сети формируется прогнозируемое значение [1].

Прогнозирование спроса на электроэнергию – это процесс определения ожидаемого потребления электроэнергии в определенный момент времени на основе исторических данных и текущих условий [2]. Погодные условия – это факторы окружающей среды, влияющие на потребление электроэнергии, включая температуру воздуха, влажность, скорость ветра и другие метеорологические параметры [3].

## **Методология**

Для решения задачи прогнозирования спроса на электроэнергию с учетом погодных условий следует разработать определенную методологию. Важно учитывать не только текущие погодные данные, но и исторические показатели, а также различные факторы, влияющие на потребление электроэнергии.

В первую очередь необходимо выбрать архитектуру используемой нейронной сети. В зависимости от особенностей данных и требований к точности прогноза, можно использовать различные типы нейросетевых моделей, такие как многослойный персептрон, рекуррентные нейронные сети, сверточные нейронные сети и др. После этого собираются исторические данные о потреблении электроэнергии, а также соответствующие погодные данные (температура, влажность, скорость ветра, количество осадков и т.д.). Данные должны быть приведены к единому временному интервалу (например, часовые или дневные показатели). Далее эти данные анализируются и разделяются на обучающую, валидационную и тестовую выборки. Обучающая выборка будет использоваться для обучения модели, валидационная - для настройки гиперпараметров, а тестовая - для оценки качества прогнозов на новых данных. Следующим шагом является обучение и оптимизация модели. На этом этапе происходит обучение нейронной сети на основе обучающей выборки с использованием методов оптимизации, таких как градиентный спуск. Валидационная выборка используется для настройки гиперпараметров модели (количество слоев, размер batch-a, скорость обучения и т.д.). После всех пройденных этапов проводится оценка качества прогнозов созданной модели. Она оценивается на тестовой выборке с использованием соответствующих метрик, таких как среднеквадратическая ошибка (MSE), средняя абсолютная ошибка (MAE), коэффициент детерминации ( $R^2$ ). По результатам оценки качества прогнозов можно принять решение о необходимости дальнейшей оптимизации модели, например, за счет изменения архитектуры, добавления новых входных параметров или применения других методов предобработки данных.

В качестве показательного примера можно привести нейронную сеть «VERA», которая была разработана специально для прогнозирования электропотребления угольного разреза «Юн्याгинский», расположенного за Северным полярным кругом. На рис. 1 представлены результаты составленного прогноза. Сплошной линией показано фактическое, пунктирной – прогнозное потребление электрической тепловой энергии. Важно отметить, что точность прогнозирования составила 90,3 % [4].

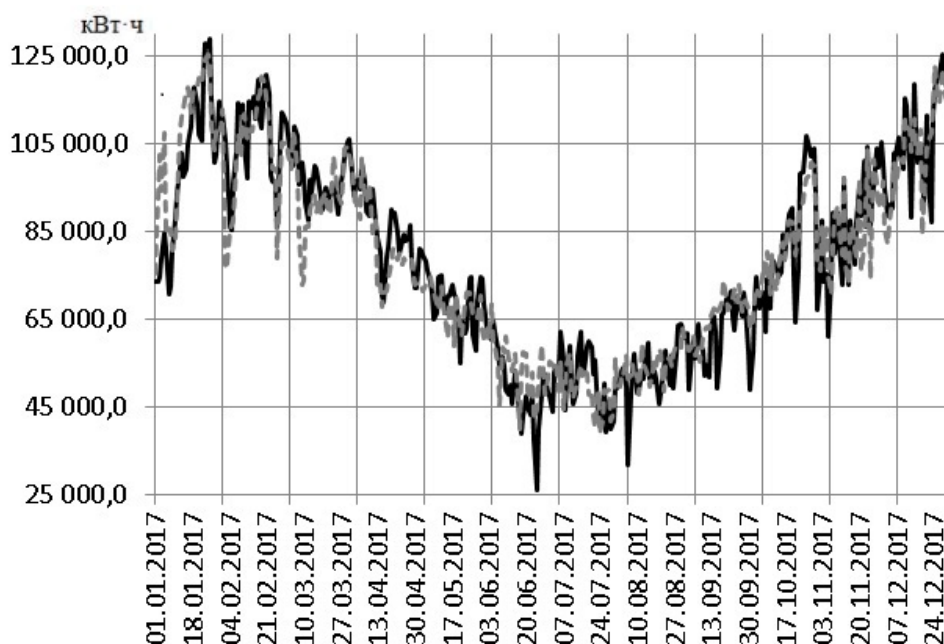


Рис. 1. Сравнение прогнозов нейронной сети VERA с фактическими значениями электропотребления угольного разреза «Юн्याгинский»

Как видно, прогнозы нейронной сети VERA очень близки к фактическим значениям электропотребления. Это может свидетельствовать о том, что модель успешно улавливает закономерности и тенденции в данных, что позволяет делать достаточно точные прогнозы. Дальнейшее использование и улучшение этой модели может быть перспективным для оптимизации процессов управления энергопотреблением на угольном разрезе.

### Главные преимущества использования нейронных сетей

Использование нейронных сетей в качестве инструмента для прогнозирования спроса на электроэнергию имеет ряд очевидных преимуществ [5]:

- Высокая точность прогнозирования. Другими словами, нейросетевые модели способны выявлять сложные нелинейные зависимости между погодными условиями и потреблением электроэнергии, что позволяет им делать более точные прогнозы по сравнению с традиционными методами.
- Адаптивность. Одним из основных преимуществ использования нейронных сетей является их способность адаптироваться к различным изменениям в данных, которые используются для анализа. Это позволяет им эффективно учитывать сезонные колебания, тренды и другие динамические факторы, влияющие на спрос на электроэнергию.
- Моделирование сложных взаимосвязей. Использование нейронных сетей позволяет учитывать множество взаимосвязанных факторов, влияющих на спрос на электроэнергию, в том числе погодные условия, временные характеристики, экономические показатели и т. д.
- Масштабируемость и возможность параллельных вычислений. Нейронные сети могут быть реализованы на высокопроизводительных вычислительных платформах, что позволяет им обрабатывать большие объемы данных и осуществлять прогнозирование в режиме реального времени.
- Гибкость. Нейронные сети могут быть обучены на различных типах данных, включая метеорологические данные, данные о потреблении электроэнергии, данные об экономической активности и т.д., что делает их применимыми в широком спектре задач прогнозирования.



### **Ряд недостатков и ограничений, которые возникают при использовании нейронных сетей**

- Необходимость в больших объемах данных. Для нормальной работы нейросетевой модели часто требуются значительные объемы исторических данных, которые используются для её обучения. Это может быть проблемой в случаях, когда данные ограничены или труднодоступны.
- Сложность построения и настройки моделей. Отметим, что процесс построения и настройки нейронных сетей может быть довольно сложным и требовать значительных вычислительных ресурсов, особенно для решения задач прогнозирования.

Несмотря на эти ограничения, использование нейронных сетей для прогнозирования спроса на электроэнергию продолжает привлекать все больше внимания исследователей и практиков в энергетической отрасли. Дальнейшее развитие методов машинного обучения, а также улучшение доступности и качества данных, будут способствовать повышению эффективности и точности прогнозирования спроса на электроэнергию.

### **Заключение**

В заключение можно сказать, что использование нейронных сетей для прогнозирования спроса на электроэнергию является перспективным направлением исследований. Нейронные сети способны учитывать множество факторов, влияющих на спрос, и обеспечивать тем самым высокую точность прогнозов. Это делает их эффективным инструментом для энергетических компаний, которые стремятся оптимизировать производство и распределение электроэнергии.

### **Список использованных источников**

1. Нейросеть // UNISENDER: сайт. – 2008. – URL: <https://www.unisender.com/ru/glossary/chto-takoe-neiroseti/> (дата обращения: 9.10.2024).
2. Мазурова О.В., Гальперова Е.В., Локтионов В.И. Перспективная оценка спроса на электроэнергию в РФ и регионах с учетом углубленной электрификации. Текст : электронный // Экономика региона. – 2022. – № 2. – URL: [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/127978/1/2022\\_18\\_2\\_016.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/127978/1/2022_18_2_016.pdf) (дата обращения: 9.10.2024).
3. Погода // Википедия: сайт. – 2001. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Погода> (дата обращения: 10.10.2024).
4. Нейронные сети как инструмент прогнозирования энергопотребления // EnergiaVita : сайт. – 2019. – URL: <https://energiavita.ru/2020/06/28/nejronnye-seti-kak-instrument-prognozirovaniya-ehnergopotrebleniya/> (дата обращения: 10.10.2024).
5. Кирилычев И. А. Преимущества использования искусственных нейронных сетей в прогнозировании энергопотребления и цен на электроэнергию. – Текст : электронный // Молодой ученый. – 2022. – № 18. – URL: <https://moluch.ru/archive/413/91242/> (дата обращения: 12.10.2024).

# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ

*Шамаев В.А.<sup>1</sup>, Григоренко А.Г.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ,  
г. Санкт-Петербург, s-shamaev01@mail.ru

<sup>2</sup> ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ,  
г. Санкт-Петербург, grigorenko869@gmail.com

## Введение

Программное обеспечение для анализа многокомпонентных сплавов играет важную роль в области материаловедения и металлургии, позволяя исследователям анализировать структуру, свойства и поведение различных материалов, в том числе металлических сплавов, в различных условиях [1]. Создание такого программного обеспечения требует комплексного подхода на стыке традиционных методов изучения материалов и современных технологий интеллектуального анализа данных. Цель разработки таких систем заключается в оптимизации процесса исследования, ускорении получения результатов и повышении точности прогнозов свойств материалов на основе состава и условий эксплуатации.

## Основные задачи и требования

Программное обеспечение для анализа многокомпонентных сплавов может иметь широкий спектр задач, начиная от определения состава и свойств сплава до моделирования его поведения в различных эксплуатационных условиях. Для успешной реализации данных целей важно учитывать следующие факторы:

- Надежность и точность результатов анализа. Программа должна предоставлять достоверные результаты, чтобы на них можно было полагаться при принятии решений.
- Высокая скорость работы. Эффективность программы имеет решающее значение для исследовательских проектов, где скорость получения результатов напрямую влияет на принятие решений.
- Гибкость и настраиваемость. Программное обеспечение должно позволять настраивать параметры анализа в соответствии с конкретными требованиями исследования.
- Удобство сохранения и обмена данными. Важно, чтобы система поддерживала обмен данными между различными пользователями для обеспечения интеграции в рабочие процессы исследовательских групп.

Задача аппроксимации, в контексте анализа многокомпонентных сплавов, заключается в нахождении регрессионной зависимости между составом сплава и его свойствами. В данном случае речь идет о множественной регрессии, где зависимая переменная (например, жаропрочность сплава) зависит от множества независимых переменных (доли содержания различных химических элементов, температура и другие факторы).

Важной частью разработки программного обеспечения для анализа многокомпонентных сплавов является предварительная обработка данных. Этот процесс включает несколько этапов, которые помогают подготовить данные для дальнейшего анализа и обучения моделей машинного обучения:

Очистка данных. Этот этап включает обработку ошибок, таких как пропущенные значения и выбросы. Например, пропущенные данные можно заполнить средними или медианными значениями, а выбросы – либо удалить, либо скорректировать. Очистка данных важна для повышения точности и надежности анализа.

Отбор признаков. В наборе данных может содержаться множество признаков, но не все они вносят значительный вклад в прогнозирование. Отбор признаков помогает выбрать наиболее информативные и значимые данные, что способствует улучшению производительности модели и уменьшает риск переобучения.

Масштабирование данных. Для правильной работы некоторых алгоритмов машинного обучения данные должны быть приведены к единому масштабу. Два распространенных метода масштабирования – это нормализация (приведение данных к диапазону от 0 до 1) и стандартизация (вычитание среднего значения и деление на стандартное отклонение, что приводит к среднему значению 0 и стандартному отклонению 1). Масштабирование улучшает сходимость алгоритмов и их производительность.

Для решения описанных ранее задач надо использовать алгоритмы [3] для обучения нейронных сетей (рис. 1) и для прогнозирования жаропрочности (рис. 2) [2].

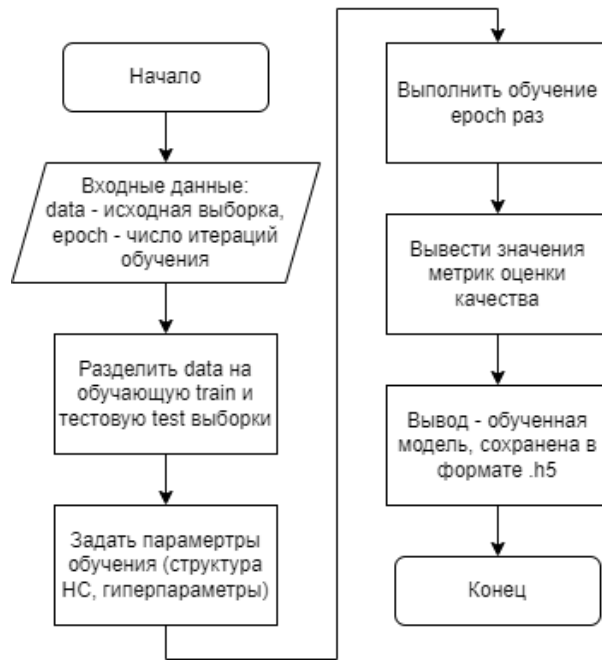


Рис. 1. Алгоритм для обучения нейронных сетей

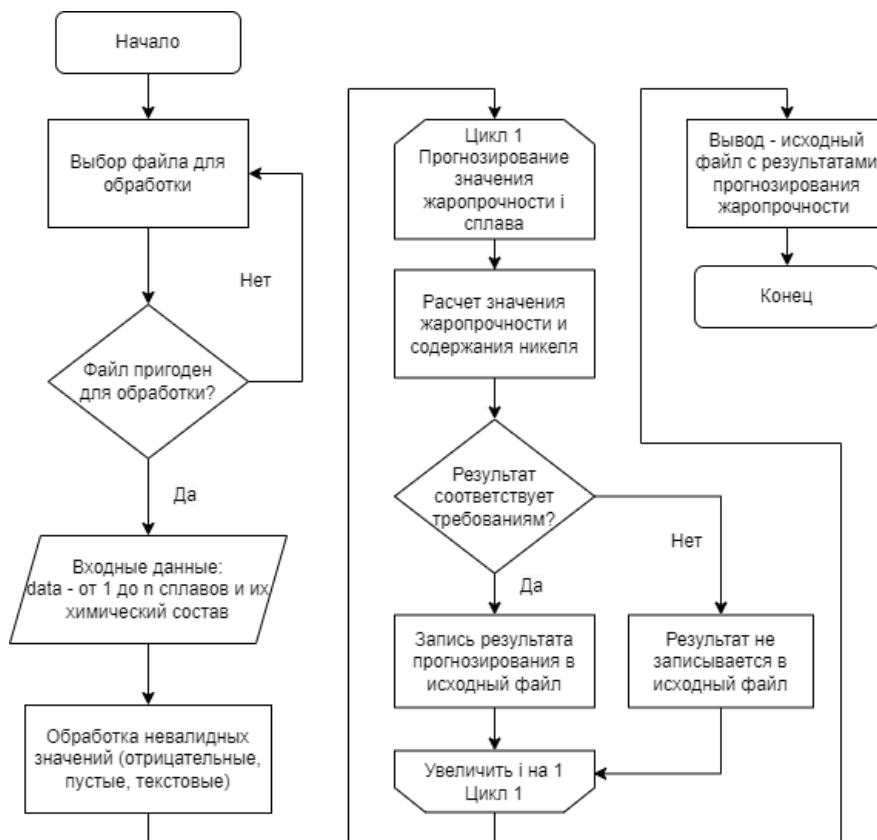
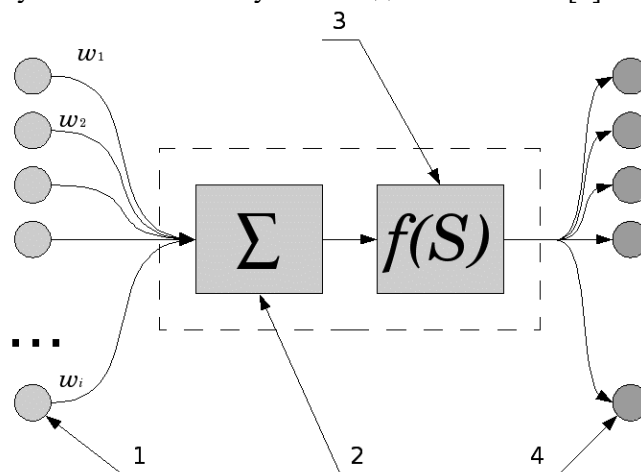


Рис. 2. Алгоритм для прогнозирования жаропрочности

Искусственные нейронные сети являются одним из основных инструментов для решения задач аппроксимации и анализа данных в нейроинформатике. Нейронные сети представляют собой вычислительные системы, состоящие из множества параллельно функционирующих простых процессоров –

нейронов (рис. 3). Каждый нейрон имеет несколько входов и один выход, а его функция заключается в обработке информации путем взвешенной суммы входных сигналов [4].



*Рис. 3. Схема искусственного нейрона:  
 1 - Нейроны, выходные сигналы которых поступают на вход данному;  
 2 - Сумматор входных сигналов;  
 3 - Вычислитель передаточной функции;  
 4 - Нейроны, на входы которых подается выходной сигнал данного*

При разработке программного обеспечения с использованием нейронных сетей необходимо определить следующие параметры:

Функция активации. Она определяет, как будет вычисляться выходное значение нейрона на основе результата взвешенной суммы входных данных и порога чувствительности.

Функция потерь. Это целевая функция, которая оценивает отклонение предсказанных значений от ожидаемых результатов.

Оптимизатор. Основной алгоритм обучения сети, ответственный за корректировку весов нейронов на основе ошибок, вычисленных функцией потерь.

Метрики. Они позволяют оценивать качество предсказаний на этапах обучения и тестирования модели [5].

## Заключение

Разработка программного обеспечения для анализа многокомпонентных сплавов является сложной многопроцессорной задачей, которая требует глубокого понимания как материаловедческих процессов, так и современных методов машинного обучения. Однако успешное создание таких систем может существенно ускорить научные исследования, повысить точность предсказаний и облегчить процесс разработки новых материалов с оптимальными свойствами.

## Список использованных источников

1. Жаропрочные сплавы // ООО «ВЛЗПС» [Электронный ресурс]: Электронный журнал. – URL: <https://www.vlzps.ru/splavi/jaroprochnye-splavy/>

2. Овсепян С.В., Ломберг Б.С., Бабурина Е.В. Расчет жаропрочности сложнолегированных никелевых сплавов с помощью уравнений системы неполяризованных ионных радиусов // Всероссийский институт авиационных материалов. – 1995. [Электронный ресурс]: Электронный журнал. – URL: <https://viam.ru/sites/default/files/scipub/1995/1995-201766.pdf>.

3. Методология моделирования функциональных моделей IDEF0 // Advanced Quality Tools. – 2019. [Электронный ресурс]: Электронный журнал. – URL: <https://advanced-quality-tools.ru/assets/idef0-rus.pdf>

4. Котенко А.П., Кузнецова О.А. Эконометрика. Парная регрессия /Издательство Самарского университета, 2016. [Электронный ресурс]: Электронный журнал. – URL: <http://repo.ssau.ru/bitstream/Metodicheskie-materialy/Ekonometrika-Parnaya-regressiya-Elektronnyi-resurs-metod-ukazaniya-k-lab-rabotam-68633/1/Котенко%20А.П.%20Эконометрика.%20Парная%20регрессия.pdf>.

5. Литвинов С. Линейная регрессия в машинном обучении // NeuroHive, 10 окт. 2018. [Электронный ресурс]: Электронный журнал. – URL: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/linejnaja-regressija/>

# ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ДАННЫХ SENTINEL-1 В СИСТЕМЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА РЕКАХ

*Шелегов Г.С., Ситдииков Д.С.*

*ФГК ВОУ ВО «Военная Академия Связи им. Маршала Советского союза С.М. Буденного» МО РФ,  
г.Санкт-Петербург, glebsorta@gmail.com*

## **Введение**

Статья посвящена применению искусственного интеллекта (ИИ) для мониторинга состояния рек на основе данных спутника Sentinel-1. Традиционные гидропосты предоставляют ключевые маркеры, такие как уровень воды и состояние льда, однако их область применения очень ограничена относительно всего русла реки. Использование ИИ позволяет автоматизировать этот процесс, ускоряя создание маркеров состояния реки. Применение машинного обучения к радиолокационным данным с Sentinel-1 обеспечивает высокую точность анализа, независимо от облачности и покрытие всего русла реки. Интеграция ИИ с данными спутников улучшает мониторинг состояния ледового покрова на реках и способствует более оперативному выявлению изменений.

## **Описание работы системы**

Современные технологии мониторинга природных объектов позволяют значительно улучшить процессы сбора и анализа данных о состоянии рек, что критично для управления водными ресурсами и предупреждения чрезвычайных ситуаций. Спутниковые системы, такие как Sentinel-1, предоставляют высокоточную информацию в режиме реального времени, позволяя получать данные о состоянии реки и ледового покрова по всему руслу реки даже в труднодоступных районах и в условиях плохой погоды. Однако для эффективного использования этих данных требуется применение передовых методов анализа, способных автоматически обрабатывать большие объемы информации и извлекать точные значения.

Искусственный интеллект (ИИ) играет ключевую роль в решении этой задачи. Благодаря возможностям машинного обучения, ИИ способен не только быстро и точно работать с данными, полученными из спутниковых снимков, но и создавать маркеры состояния реки, аналогичные тем, что используются на традиционных гидропостах. Эти маркеры помогают определять такие параметры, как наличие ледового покрова и его состояние, что значительно упрощает контроль за состоянием водных объектов.

Спутник Sentinel-1 обеспечивает радиолокационные снимки с высоким пространственным разрешением, что позволяет детализировать водные объекты и ледовые покровы. Преимущество радиолокационных данных заключается в том, что они не зависят от освещенности и погодных условий, что особенно важно для наблюдений в северных широтах, где в зимний период преобладают полярная ночь и облачность. Радиолокационные данные позволяют отслеживать изменения состояния поверхности на реках, определять наличие и тип льда (ледостав, ледоход, заторы, зажоры) [1], а также отслеживать динамику его разрушение, что дает возможность своевременно реагировать на возникновение чрезвычайных ситуаций и принимать решения по их профилактике.

Для эффективного использования этих данных необходимо выполнить ряд шагов, включающих обработку и анализ изображений, что позволит извлечь полезную информацию для мониторинга ледовой поверхности. Ниже приводится описание основных этапов обработки и анализа данных, которые были использованы для создания системы маркеров состояния реки с применением ИИ.

Первый этап работы заключается в загрузке радиолокационных данных со спутника Sentinel-1. Для этого используется режим Ground Range Detected (GRD) в интервальном режиме наблюдения (IW, Interferometric Wide Swath). Этот режим наиболее подходит для мониторинга водных объектов, так как обеспечивает широкую полосу захвата (около 250 км) и высокое пространственное разрешение (до 10 метров), что позволяет детализировать поверхность рек и ледовые образования. Данные Sentinel-1 в формате GRD содержат изображения, которые уже прошли начальную обработку – геометрическую коррекцию и проекцию на земную поверхность, что облегчает их дальнейшую обработку [2]. Эти данные загружаются из открытых источников, таких как Copernicus Open Access Hub, и предоставляют полноценную информацию для анализа состояния реки.

После скачивания радиолокационных данных необходимо провести их предобработку для дальнейшего анализа. Для этого используется программное обеспечение SNAP (Sentinel Application Platform), разработанное Европейским космическим агентством (ESA). В SNAP производится последовательная обработка снимков [3].

Для анализа конкретной реки используется наложение shape-файла, который содержит контуры изучаемого водного объекта. Этот процесс позволяет вырезать участок изображения, соответствующий интересующему региону реки, и исключить ненужные данные. В результате получается набор данных, содержащий только изображения поверхности реки, что упрощает дальнейший анализ.

На следующем этапе для оценки вероятности наличия льда на поверхности реки применяется метод логистической регрессии, для подсчета которой используется формула (1).

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_{VV} * VV_{\text{Sigma}0} + \beta_{VH} * VH_{\text{Sigma}0} \quad (1)$$

где  $\beta_0, \beta_{VV}, \beta_{VH}$  – параметры модели;

$p$  – вероятность льда;

$VV_{\text{Sigma}0}$  – коэффициент рассеяния в поляризации VV;

$VH_{\text{Sigma}0}$  – коэффициент рассеяния в поляризации VH.

Результат наложения shapefile и подсчет значений по формуле представлены на рис. 1. В качестве примера была выбрана река Кола в Мурманской области.

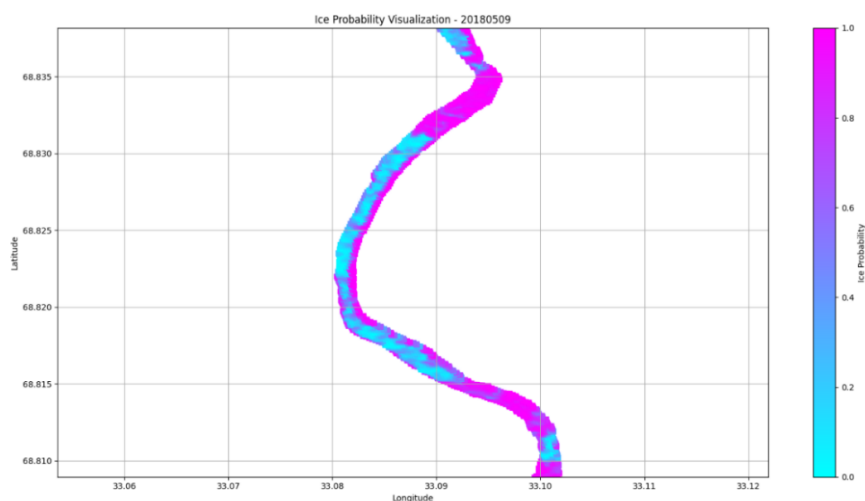


Рис. 1. Визуализация результатов работы формулы

В качестве архитектуры нейронной сети была использована простую многослойную нейронную сеть MLP [4] для классификации последовательностей значений Ice\_Probability (рис. 2). Она имеет входной, выходной слой и два скрытых слоя.

Pixel-X	Pixel-Y	Longitude	Latitude	Sigma0_VH	Sigma0_VV	Sigma0_VV_db	Sigma0_VH_db	Ice_Probability
13340.5	7767.5	33.124167726131624	68.78657065576614	0.008505685	0.019197322	-17.167593505537447	-20.70290705009598	0.5995103805061275
13341.5	7767.5	33.123925976904715	68.78658996098395	0.006042783	0.022737907	-16.43249514150684	-22.187630012495898	0.7022780877608682
13342.5	7767.5	33.123684227676925	68.78660926620175	0.00465301124	0.023044337	-16.3743578228381	-23.322657908963478	0.694852007027489
13343.5	7767.5	33.123442478444824	68.78662857141957	0.0036841233	0.01972606	-17.049596502335305	-24.33665843292363	0.5594032587273797
13344.5	7767.5	33.1232007292187	68.78664787663736	0.0030830896	0.014777038	-18.304126098635038	-25.110138537294972	0.3167288936460276
13345.5	7767.5	33.12295897998829	68.78666718185518	0.0037941448	0.012377983	-19.073501181055786	-24.208860986869517	0.21577137950436118
13346.5	7767.5	33.122717230757026	68.78668648707298	0.004365618	0.013908762	-18.567115242492136	-23.59954268569661	0.2967180304520345
13347.5	7767.5	33.12247548152493	68.78670579229079	0.003637045	0.022946948	-16.39275068510163	-24.392513255246712	0.6756897828299246
13348.5	7767.5	33.12223373229199	68.7867250975086	0.0020687669	0.03063031	-15.138486078095518	-26.842884410630386	0.8199115976050283
13349.5	7767.5	33.12199198305821	68.78674440272641	0.0009521256	0.029804235	-15.257220209421178	-30.213057577195702	0.7666692683382893
13350.5	7767.5	33.12175023382363	68.7867637079442	0.0011758507	0.02202212	-16.57140875192443	-29.296478179558104	0.5634008522339609
13351.5	7767.5	33.12150848458823	68.78678301316201	0.0021602293	0.014289831	-18.449729074022734	-26.655001477197636	0.2713776433709458
13352.5	7767.5	33.12126673535204	68.78680231837983	0.0031886813	0.012248247	-19.11926064173332	-24.963888851370925	0.20131266415657537
13353.5	7767.5	33.12102498611504	68.78682162359762	0.005237169	0.011116449	-19.540339201274584	-22.80903411475025	0.17547799487201796

Рис. 2. Значение поляризации в децибелах и вероятность, подсчитанная с помощью логистической регрессии

Первый скрытый слой представлен 128 нейронами, второй имеет 64. Везде используются функция активации ReLU. Функция активации ReLU (Rectified Linear Unit) помогает избежать проблемы затухающих градиентов и ускоряет обучение модели.

Размер входного слоя определяется размером входного вектора после выравнивания (padding). Этот размер соответствует количеству в последовательностях Ice\_Probability.

Выходной слой имеет количество нейронов, равным количеству уникальных классов (меток), и функцией активации softmax для многоклассовой классификации. Выходной слой с softmax активацией обеспечивает нормализованные вероятности для каждого класса, что упрощает задачу классификации.

Так же был использован оптимизатор Adam (Adaptive Moment Estimation) сочетает в себе преимущества методов AdaGrad и RMSProp и обеспечивает быстрое и надежное обучение.

Выбрана MLP была в виду небольшого итогового набора данных и возможности легкого адаптирования и расширения метода, например через добавления дополнительного слоя или изменения количество нейронов в существующих слоях для улучшения производительности. Результат работы обученной сети представлен на рис. 3.

	Year	Total Records	Correct Predictions	Accuracy (%)
0	2014	2	1	50.000000
1	2015	45	38	84.444444
2	2016	63	49	77.777778
3	2017	181	154	85.082873
4	2018	341	307	90.029326

Рис. 3. Результат работы нейронной сети

## Заключение

Модель была испытана на данных, которые использовались как для обучения, так и для тестирования. Это позволило оценить её способность к обобщению и точности предсказаний. Результаты показали, что модель демонстрирует высокую точность предсказаний, особенно на больших наборах данных. Точность предсказаний варьировалась от 50 % в 2014 году до 90 % в 2018 году. Низкая точность для 2014 года была объяснена малым объёмом данных, что подчеркивает важность наличия достаточного количества данных для обучения более надёжных моделей.

Внедрение таких интеллектуальных систем в процессы принятия решений способствует более обоснованному и оперативному реагированию со стороны властей и ответственных организаций. Способность ИИ анализировать большие объёмы данных и предоставлять достоверные прогнозы помогает принимать решения на основе фактической информации, что значительно увеличивает шансы на предотвращение катастроф и эффективное управление водными ресурсами.

Перспективы дальнейших исследований в этой области включают улучшение алгоритмов машинного обучения, использование более сложных моделей для повышения точности прогнозирования, а также интеграцию дополнительных источников данных, таких как метеорологические станции и модели прогнозирования погоды.

## Список использованных источников

1. Агафонова С.А., Фролова Н.Л., Василенко А.Н., Широкова В.А. Ледовый режим и опасные гидрологические явления на реках арктической зоны европейской территории России // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2016. – № 6. – С. 41–49.
2. Boulze H., Korosov A., Brajard J. Classification of sea ice types in Sentinel-1 SAR data using convolutional neural networks // Remote Sensing. – 2020. – Т. 12. – № 13. – С. 2165. (<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/13/2165>)
3. Filippini F. Sentinel-1 GRD preprocessing workflow [Текст] / F. Filippini // Multidisciplinary digital publishing institute proceedings. – 2019. – Т. 18. – № 1. – С. 11–15.
4. Liu Z., Koo Y.H., Rahnmooonfar M. Physics-Informed Machine Learning On Polar Ice: A Survey // arXiv preprint arXiv:2404.19536. – 2024.

## **Школьная секция**



# ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

*Сагайдашен А.Р.<sup>1</sup>, Портнягин К.В.<sup>1</sup>, Яковлев С.И.<sup>1</sup>, Корольков Л.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ОГБПОУ «Томский аграрный колледж», курс-3, группа-Э-338

<sup>2</sup> НИИ ПММ ТГУ, заведующий сектором, e-mail: korolkov.leo@rambler.ru

## Введение

В данной работе рассматривается вопрос целесообразности замены электромеханической релейной защиты электродвигателей, на более современную микропроцессорную. Предполагается, что это позволит повысить надежность защищаемых электродвигателей и уменьшить ущерб при аварийных ситуациях.

В настоящее время в российской энергетике парк устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) в основном состоит из электромеханических устройств (их доля составляет около 98,5 %)[1]. Очевидно, что важность обеспечения локализации повреждений и предотвращения развития аварий обуславливает необходимость скорейшего технического перевооружения.

Среди животноводческих предприятий наиболее крупными потребителями электрической энергии являются:

- 1) птицефабрики (до 1350 кВт);
- 2) комбикормовые заводы (до 1290 кВт);
- 3) фермы по выращиванию и откорму крупного рогатого скота (до 450 кВт);
- 4) птицефермы (до 280 кВт).

К основным потребителям предприятий животноводства относятся: системы вентиляции и отопления, компрессоры, освещение, кормоприготовительные машины (дробилки и кормосмесители), транспортеры, кормораздатчики. По категории бесперебойности электроснабжения наибольшее количество электроприемников I категории установлено на предприятиях молочного животноводства, где отключение электропитания грозит серьезным технологическим и экономическим ущербом. Проблемы низкого качества электроснабжения животноводческих предприятий связаны с рядом факторов: значительная удаленность от электростанций, высокий износ имеющейся электросетевой инфраструктуры, неравномерность нагрузки и пр. Эффективный подход к повышению надежности электропривода заключается, в том числе и в применении микропроцессорных РЗА.

Основное преимущество микропроцессорных РЗА – это их многофункциональность, возможность резко сократить время на проведение текущих ремонтов, ликвидацию простоя за счет упразднения целого ряда диагностических и испытательных процедур. Как правило, микропроцессорные устройства РЗА подключаются к системам АСУ ТП, это позволяет автоматизировать диспетчерское управление, сбор данных, отображать всю схему технологического процесса, состояние оборудования, отображать значения основных физических величин, а также фиксировать в реальном времени возникающие отклонения и аварийные ситуации. Рассматривая отечественных и зарубежных производителей микропроцессорных защит можно прийти к следующим выводам.

Опыт внедрения импортных микропроцессорных устройств РЗА показывает - отличие в технической идеологии этих устройств от принятой в России, невысокое качество перевода технической документации, разночтения в тексте и схемах вызывают определенные трудности при их использовании. Условно устройства РЗА можно поделить на три группы.

Простейшие РЗА - реле защиты двигателя MPR PROXIMA «ЕКФ», комплексное защитное устройство для двигателей JD-5A «СНІТ», монитор тока двигателя МТД «Энергис».

Микропроцессорные РЗА для высоковольтных электродвигателей - терминал дифференциальной защиты, автоматики, управления и сигнализации электродвигателя «ЭКРА», блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ «Механотроника».

Рассматривая средний сегмент, как по функционалу, так и по стоимости можно выделить – УМЗ «Дион», УЗД «ОВЕН», УЗД «МИКРОНИКС». ООО ПО «Дион» в сравнении с другими производителями отличает узкая специализация и как следствие лучшая техническая и технологическая проработка выпускаемых серийно приборов. По видимому, гибкая реакция на запросы потребителей привела к увеличению номенклатуры выпускаемых приборов – пять семейств, более сотни модификаций. Это можно отнести как, к недостаткам, трудно определиться в выборе прибора так и к преимуществам,

поскольку есть возможность выбрать только необходимые опции и не переплачивать за неиспользуемый функционал. Обсуждение достоинств и недостатков известных устройств РЗА выходит за рамки данной работы, потому используем параметры устройства мониторинга и защиты (УМЗ) которое имеется в наличии.

Оценку обоснованности внедрения микропроцессорной РЗА выполним на основании типового технико-экономического расчета [2].

### Расчет экономической эффективности установки микропроцессорной релейной защиты

Используя метод усредненных коэффициентов, найдем капитальные вложения в релейную защиту двигателей. Метод предполагает упрощенное определение затрат на монтаж и накладные расходы, возникающие при введении оборудования в эксплуатацию [3].

Общие капиталовложения находятся по формуле 1:

$$K_g = (C_{оп} + M_n + T_c) \cdot K_m = (21000 + 3150 + 2940) \cdot 2 = 54180 \text{ руб.} \quad (1)$$

где  $C_{оп}$  – стоимость оборудования, руб;  
 $M_n$  – затраты на монтаж, руб;  
 $T_c$  – затраты на транспортировку и хранение оборудования, или накладные расходы, руб;  
 $K_m$  – количество единиц оборудования или аппаратов, шт.

Годовые затраты на эксплуатацию электрооборудования находятся по формуле (2) без учета затрат на оплату труда.

$$I_g = I_{зп} + I_a + I_{эл.э} + P_p = 238392 + 22958 + 5227 = 266577 \text{ руб./год} \quad (2)$$

где  $I_{зп}$  – издержки на оплату труда обслуживающего персонала, руб./год (не учитываем);  
 $I_a$  – издержки на амортизацию, руб./год;  
 $I_{эл.э}$  – стоимость потребляемой электроэнергии,  
 $P_p$  – прочие расходы, руб./год.

Рассчитаем и сравним стоимость ущерба при отказе, для устанавливаемой микропроцессорной релейной защиты и заменяемой (установленной на данный момент) электромеханической релейной защиты используя методики и данные, приведенные в источниках [3,4,5]. Отказ релейной защиты приводит к перерыву в работе, длительность которого зависит от ряда обстоятельств:

- наличия или отсутствия постоянного дежурного персонала,
- времени на оперативные переговоры,
- времени на осмотр оборудования,
- времени поиска неисправного элемента,
- времени замены или ремонта неисправного элемента,
- времени проверки работоспособности устройства и пр.

При использовании электромеханического реле технологическая установка прекращает работу, персонал фиксирует аварийное отключение, однако причину еще предстоит определить. При использовании микропроцессорного реле факт срабатывания фиксируется в журнале устройства и диспетчерской службой. Причину отключения можно определить по индикации на передней панели и в журнале аварий, что значительно сокращает время простоев. В процессе работы под управлением АСУ ТП факт выхода технологической установки из нормального режима отображается на мнемосхемах.

Стоимость ущерба от простоя при эксплуатации электромеханической релейной защиты рассчитывается по формуле 3:

$$V_{эм} = (K_{эм} / K_m) \cdot (a + b \cdot t_m) \cdot P = (1,2 / 1,1) \cdot (16 + 213,5 \cdot 1) \cdot 15 = 3869 \text{ руб} \quad (3)$$

где  $a$  – Постоянная (фиксированная) часть ущерба, не зависящая от продолжительности отсутствия электроснабжения,  $a=16$  руб/кВт;  
 $b$  – Переменная часть ущерба  $b=213,5$  руб/кВт;  
 $t$  – Продолжительность простоя (ч);  
 $P$  – Потребляемая мощность агрегата, отключенного в результате отказа релейной защиты,  $P=15$  кВт.

Коэффициент надежности для микропроцессорного реле  $K_m=1,1$   
 Коэффициент надежности для электромеханического реле  $K_{эм}=1,2$   
 Стоимость ущерба при использовании микропроцессорной релейной защиты:

$$Y_m = (a + b \cdot t_m) \cdot P = (16 + 213,5 \cdot 2) \cdot 15 = 6645 \text{ руб}$$

Время простоя зависит от целого ряда условий, в расчете использованы данные по предприятию ООО «Межениновская птицефабрика». Согласно этим данным вынужденные времена простоя для электромеханических реле усредненные  $t_{эм}=11$  часов, для микропроцессорных  $t_m=2$  часа. Для микропроцессорных реле указано максимальное время простоя, поскольку переключение выполняется оператором АСУ ТП. Фиксированная и переменная часть ущерба изменяется в широких пределах от предприятия к предприятию и зависит от целого ряда обстоятельств и не всегда определяется достоверно. Тем не менее, нетрудно заметить значительную разницу в ущербе, экономия вследствие установки микропроцессорной защиты.

$$\mathcal{E} = Y_{эм} - Y_m = 386918 - 6645 = 3204682 \text{ руб}$$

Чистая экономия предприятия из-за внедрения микропроцессорной релейной защиты:

$$Ч_э = \mathcal{E} - И_{эм} = 3204682 - 266577 = 3181724 \text{ руб/год}$$

Срок окупаемости капиталовложений — период времени, необходимый для того, чтобы доходы, образованные инвестициями, покрыли затраты на инвестиции. Простой срок окупаемости можно определить по формуле 4:

$$T_{псо} = K_г / \mathcal{E}_{эм} = 54180 / 3181724 = 1,7 \text{ лет} \quad (4)$$

К прибыли также относится экономия, в результате снижения ущерба от ненормальных режимов работы электропривода. Однако в данном расчете ущерб от ненормальных режимов работы не учитывается. Показатели, характеризующие экономические результаты, сводим в таблицу 1.

Таблица 1

*Экономическая эффективность внедрения микропроцессорной РЗА*

Показатели	Значение
Капиталовложения, $K_v$ , руб.	54180
Эксплуатационные расходы $I_э$ , руб.	2665,77
Экономия затрат $\mathcal{E}$ , руб.	32046,82
Чистая экономия $Ч_э$ , руб	31817,24
Простой срок окупаемости $T_{псо}$ , лет	1,7

Определим чистый дисконтированный доход. Чистый дисконтированный доход – превышение дохода над затратами нарастающим итогом за расчетный период с учетом дисконтирования. Оценку эффективности внедрения электрооборудования и решение о финансировании примем на основании чистого дисконтированного дохода. Основные инвестиции вкладываются одновременно, в начале мероприятия ( $t=0$ ), динамического срока окупаемости. Результаты сведем в таблицу 2.

Таблица 2

*Оценка эффективности внедрения микропроцессорной РЗА*

Год, t	Инвестиции, тыс.руб.	Прибыль от реализации проекта, тыс. руб.	ЧДД, тыс. руб. при $E=0,182$
0	54180		
1	0	32,046	34,73
2	0	32,046	41,06
3	0	32,046	48,53
4	0	32,046	57,37
5	0	32,046	67,82

## **Заключение**

Поскольку срок окупаемости менее двух лет, значение чистого дисконтированного дохода положительно, внедрение микропроцессорной РЗА двигателей является экономически выгодным и инвестиции эффективны при данной норме дисконта. Используя подобные алгоритмы расчета необходимо учитывать особенности технологических процессов при определении характерного времени простоя. Так же следует внимательно относиться к определению фиксированной и переменной частей ущерба. Например, по мнению технического персонала ПАО «Уралкалий» имеющего значительный опыт в использовании микропроцессорных РЗА, использованные в расчете данные требуют значительной коррекции в сторону увеличения. В заключении коллектив авторов выражает благодарность ООО ПО «Дион» за безвозмездно переданное оборудование, ООО «Межениновская птицефабрика» за предоставленные данные. Поддержка указанных предприятий позволила выполнить данную практическую работу.

## **Список использованных источников**

1. Гуревич В.И. Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты: мифы и реальность / В.И. Гуревич // Вести в электроэнергетике. – 2008. – № 4. – С. 29–37.
2. Техничко-экономическое обоснование [Электронный ресурс] – URL: <https://studfile.net/preview/3823399/> (дата обращения: 25.10.2024).
3. Хачатуров Т.С. Экономическая эффективность капитальных вложений. – М., 1964.
4. Нормы технологического проектирования предприятий ВНТП-02-92.
5. РД 34.35.310-97. Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматике энергосистем.
6. РД 153-34.0-35.648-01 Рекомендации по модернизации, реконструкции и замене длительно эксплуатируемых устройств релейной защиты и электроавтоматики энергосистем.

# ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

*Росновский Р.С.<sup>1</sup>, Езангина Т.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение средняя общеобразовательная школа № 4 им. И.С. Черных г. Томска, e-mail: eta@tpu.ru*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, ведущий научный сотрудник, e-mail: eta@tpu.ru*

## **Введение**

В настоящее время развитие подводной робототехники является одним из приоритетных направлений Российской Федерации. Важным элементом в ее арсенале являются автономные необитаемые подводные аппараты. Они применяются для решения научно-исследовательских и прикладных задач в интересах различных отраслей экономики [1–3].

Очевидно, что качество выполнения перечисленных задач зависит от точности и скорости движения подводного аппарата. При этом существует проблема разработки самого аппарата и риск повреждения дорогостоящего аппарата при его эксплуатации. В связи с этим, использование симуляторов является необходимым для разработки робототехнических систем и при этом является доступным с точки зрения трудозатрат и стоимости экспериментов.

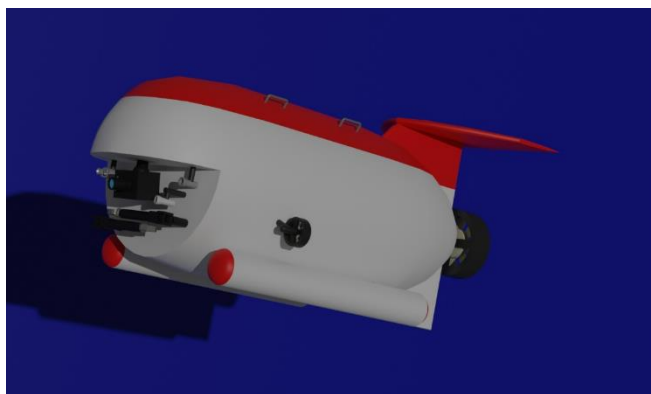
Таким образом, целью работы является разработка симулятора движения автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА).

## **Математическая модель системы управления движения подводного аппарата**

Для достижения данной цели составлена структура системы управления движением АНПА [4]. При ее составлении получены: зависимости гидродинамических сил и моментов от углов атаки и скольжения на разных скоростях; математическая модель исполнительных механизмов, системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику и кинематику подводного аппарата; методы синтеза регулятора [5]. Проведен анализ управляемости подводного аппарата и оценка гидродинамических сил и моментов.

## **3D-модель подводного аппарата**

В результате математического описания АНПА разработана его 3D-модель, которая приведена на рис. 1. Данная модель составлена в Blender.



*Рис. 1. 3D-модель АНПА*

## **Структура программного комплекса**

На основе полученных результатов разработан программный комплекс (ПК) моделирования и визуализации движения подводного аппарата («SMAV»). Его структура приведена на рис. 2.

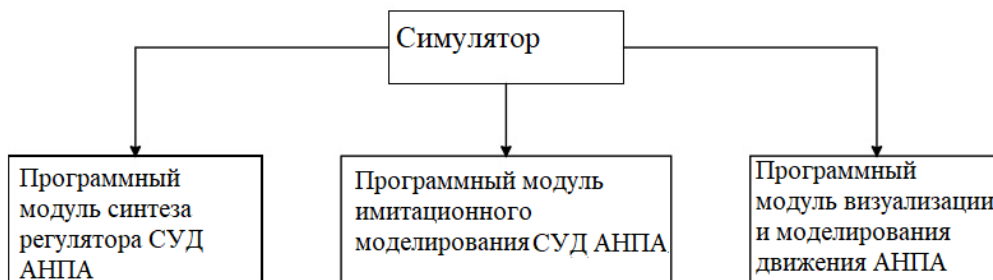


Рис. 2. Структура ПК «SMAV»

ПК «SMAV» включает:

- программный модуль синтеза регулятора системы управления движения (СУД) АНПА;
  - программный модуль имитационного моделирования СУД АНПА;
  - программный модуль визуализации и моделирования движения АНПА.
- Далее рассмотрим более подробно каждый блок ПК «SMAV».

### Программный модуль синтеза регулятора СУД АНПА

Функции модуля: синтез пропорционально-интегрального, пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора и определение показателей качества системы (степень устойчивости и колебательности). Результаты применения программного модуля для синтеза пропорционально-интегрального регулятора приведены на рис. 3. Программный модуль реализован на C++.

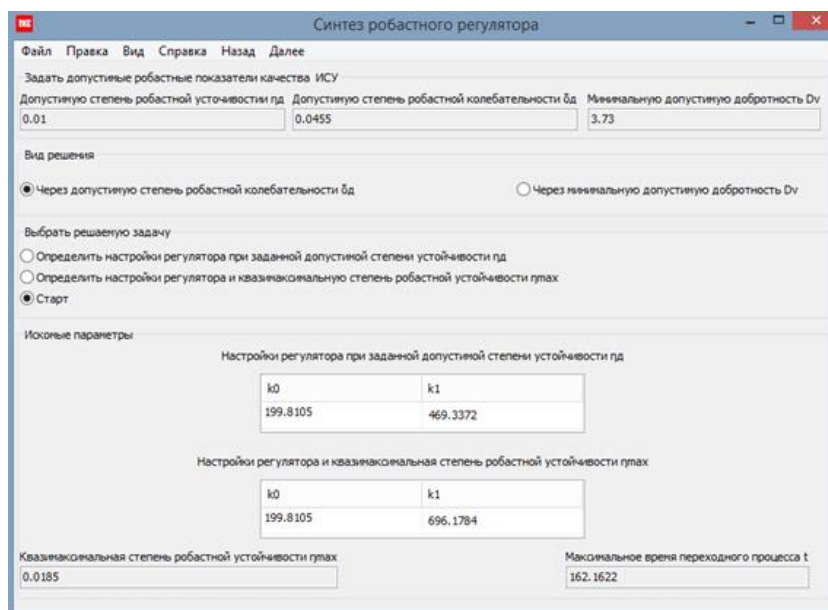


Рис. 3. Результат синтеза регулятора в ПК «SMAV»

### Модуль имитационного моделирования СУД АНПА

Модуль включает функции:

- построение переходных характеристик системы;
- построение импульсных характеристик системы;
- построение областей локализации нулей и полюсов системы.

Результат построения переходных характеристик приведен на рис. 4. Программный модуль реализован на C++.

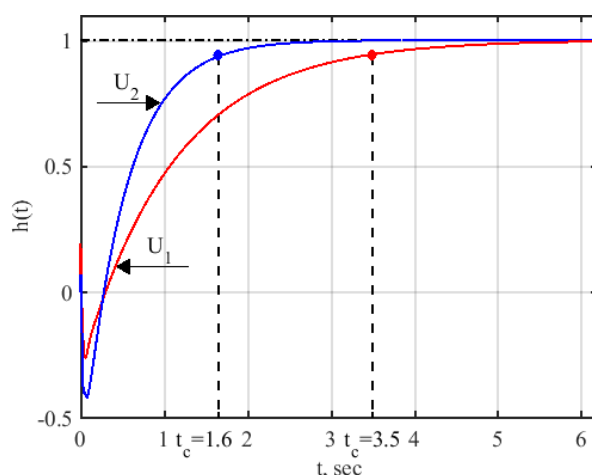


Рис. 4. Результат имитационного моделирования СУД АНПА

### Модуль визуализации и моделирования движения АНПА

Программный модуль моделирует движения АНПА по типовым траекториям: зигзаг, спираль, циклоида и т.д. Программный модуль реализован на С++. Результаты работы программного модуля приведены на рис. 5.

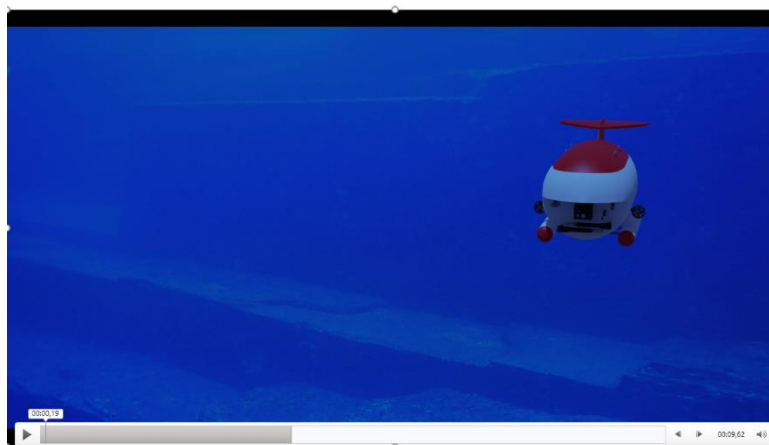


Рис. 5. Визуализация движения АНПА по заданной траектории

### Заключение

В результате проведенного исследования разработан симулятор движения АНПА. Для этого составлена математическая модель СУД АНПА. На основе данной модели спроектирована 3D-модель АНПА. В работе представлены результаты применения симулятора для визуализации движения АНПА по заданной траектории.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ # 24-29-00645

### Список использованных источников

1. Костенко В.В., Михайлов Д.Н. Разработка телеуправляемого подводного аппарата «МАКС-300» // Подводные исследования и робототехника. – 2012. – № 1. – С. 36–46.
2. Гоцык М.О., Жиленков А.А. Перспективы использования автономных необитаемых подводных аппаратов // Actualscience. – 2016. – Т. 2, № 4. – С. 46–48.
3. Лискин В.А., Зарецкий А.В., Римский-Корсаков Н.А. Разработка глубоководных буксируемых систем для исследования придонной области океана // Научное обозрение. Технические науки. – 2019. – № 1. – С. 37–42.
4. Ezangina T.A. Mathematical model of interval control system of underwater vehicle motion // Asian Journal of Control. – 2025.
5. Ezangina T.A., Gayvoronskiy S.A. Ensuring Maximum Stability Degree in the Systems with Interval Parameters // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 752–753. – P. 955–961.

Научное издание

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Сборник трудов  
II Всероссийской научно-практической конференции

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка *А.М. Богдан*

Зарегистрировано в Издательстве ТПУ  
Размещено на корпоративном портале ТПУ  
в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета

---



**Издательство**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ