



Югорский
государственный
университет



БИЗНЕС-ТРАНСФОРМАЦИЯ: УПРАВЛЕНИЕ УЛУЧШЕНИЯМИ

Выпуск № 3 (12) 2025



г. Ханты-Мансийск



Бизнес-трансформация: управление улучшениями

Студенческий научный журнал

№ 3 (12)

2025 г.

Ханты-Мансийск
2025

УДК 001

Главный редактор – **Лебедева Илона Дмитриевна**

Редакционная коллегия:

1. **Абилькенова Валерия Анатольевна** – кандидат социологических наук, доцент центра образовательного инжиниринга ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
2. **Аладко Олеся Ивановна** – кандидат педагогических наук, доцент центра образовательного инжиниринга ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
3. **Антюфеева Татьяна Валерьевна** – кандидат биологических наук, доцент высшей экологической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
4. **Астапенко Елена Олеговна** – кандидат экономических наук, доцент центра образовательного инжиниринга ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
5. **Барбашов Сергей Викторович** – доктор биологических наук, доцент высшей школы физической культуры и спорта ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
6. **Бессонова Татьяна Николаевна** – кандидат экономических наук, доцент высшей школы цифровой экономики ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
7. **Вартанян Арам Саркисович** – кандидат педагогических наук, доцент высшей психолого-педагогической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
8. **Власова Оксана Вячеславовна** – доктор юридических наук, профессор высшей школы права ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
9. **Грязных Андрей Витальевич** – доктор биологических наук, доцент высшей школы физической культуры и спорта ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
10. **Долматов Алексей Викторович** – кандидат технических наук, доцент высшей школы цифровой экономики ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
11. **Залевская Мария Александровна** – кандидат экономических наук, доцент высшей школы цифровой экономики ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
12. **Заров Евгений Андреевич** – старший научный сотрудник лаборатории изучения пространственно-временной динамики углеродного баланса лесных и болотных экосистем средней тайги Западной Сибири ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
13. **Кислухина Анастасия Алексеевна** – преподаватель высшей школы права ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
14. **Коцюрко Елена Петровна** – доцент центра образовательного инжиниринга ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
15. **Лукьянец Ольга Валериевна** – кандидат психологических наук, доцент высшей психолого-педагогической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
16. **Мионов Андрей Валерьевич** – кандидат психологических наук, доцент высшей психолого-педагогической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
17. **Осипов Дмитрий Сергеевич** – доктор технических наук, профессор политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
18. **Плучевская Эмилия Валерьевна** – кандидат экономических наук, доцент высшей школы цифровой экономики ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».
19. **Попов Владимир Иванович** – кандидат юридических наук, доцент высшей школы права ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

20. **Пятков Сергей Григорьевич** – доктор физико-математических наук, профессор инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

21. **Сабреков Александр Фаритович** – научный сотрудник лаборатории изучения пространственно-временной динамики углеродного баланса лесных и болотных экосистем средней тайги Западной Сибири ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

22. **Самарин Валерий Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

23. **Слободян Малика Лутаевна** – кандидат экономических наук, доцент высшей школы цифровой экономики ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

24. **Сомикова Татьяна Юрьевна** – кандидат филологических наук, доцент высшей школы гуманитарных наук ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

25. **Стогов Максим Валерьевич** – доктор биологических наук, профессор высшей школы физической культуры и спорта ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

26. **Такмашева Ирина Вениаминовна** – кандидат экономических наук, доцент высшей школы цифровой экономики ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

27. **Ткаченко Всеволод Андреевич** – кандидат технических наук, доцент политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

28. **Филимонова Наталья Владимировна** – кандидат филологических наук, доцент высшей школы гуманитарных наук ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

29. **Хайдукова Екатерина Сергеевна** – старший преподаватель центра образовательного инжиниринга ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

30. **Харина Наталья Сергеевна** – кандидат исторических наук, доцент высшей школы гуманитарных наук ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

31. **Челак Елена Анатольевна** – кандидат филологических наук, доцент высшей школы гуманитарных наук ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

32. **Шепелев Александр Олегович** – кандидат технических наук, заведующий лабораторией искусственного интеллекта электроэнергетических систем ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

33. **Шицелов Анатолий Вячеславович** – старший преподаватель инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

Рубрика «Бережливое производство: синергия возможностей»*Нечукин В. С., Бетев Д. В.***Применение искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа аварийных режимов электроэнергетических систем..... 5***Ноговицына В. М., Максимов М. А.***Производство функциональных макетов печатных плат при помощи 3D-принтера 14***Рыбалко А. В.***Экономическая эффективность компенсации реактивной мощности в промышленных электрических сетях 20****Рубрика «Зеленые технологии природопользования в решении экологических проблем»***Щербинина В. Д.***Развитие ответственного (осознанного) туризма на примере экореабилитации лесопарка в городе Кургане..... 27****Рубрика «Месторождение знаний»***Антипова М. А., Батманова Л. Н.***Верификация алгоритма определения присоединения с однофазным замыканием на землю по энергии спектра высших гармоник в разнородных сетях 6 (10) кВ..... 36***Горбатюк Д. Ю., Солодянкин М. Е.***Моделирование однофазного замыкания на землю в MATLAB Simulink с генерацией SV-потока по МЭК 61850 на комплексе «РИТМ»..... 45***Нарбиков Д. Ф.***Разработка системы планирования траектории перемещения всенаправленной мобильной платформы через виртуальное пространство 53***Удовенко М. И.***Разработка сервиса для управления умными устройствами «SmartFoxie» 60***Шестаков А. С.***Аналитическое моделирование магнитного поля криволинейных проводников при отсутствии внешних воздействий 67***Юдина Д. С.***Эмодзи и реакции в мессенджерах как акцент: новая реальность договорного права 75**

**ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА АВАРИЙНЫХ
РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING
FOR POWER SYSTEM CONTINGENCY ANALYSIS**

Нечукин Владислав Сергеевич

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: nechukinvlad@mail.ru

Бетев Денис Владимирович

2.4.3 Электроэнергетика

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: betevdv@rambler.ru

Научный руководитель: канд. техн. наук Ткаченко Всеволод Андреевич

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Vladislav S. Nechukin

13.03.02 Electric Power Engineering and Electrical Engineering

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: nechukinvlad@mail.ru

Denis V. Betev

2.4.3 Electric Power Engineering

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: betevdv@rambler.ru

Scientific adviser: PhD in Engineering Vsevolod A. Tkachenko

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. В данной статье рассматривается комплексный анализ современных методов искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО), применяемых для диагностики, прогнозирования и предотвращения аварийных режимов в электрических сетях. Рассмотрены практическая реализация и опытное использование на объектах электроэнергетики. Рассмотрены ключевые алгоритмы, включая глубокое обучение, ансамбли моделей и другие виды обучения, а также их эффективность в диагностике, усовершенствовании защитных систем.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, аварийные режимы, электроэнергетическая система, электрические сети, нейронные сети.

Annotation. This article provides a comprehensive analysis of modern artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) methods used to diagnose, predict,

and prevent emergency conditions in electrical networks. Practical implementation and experimental use at power industry facilities are considered. Key algorithms, including deep learning, model ensembles, and other types of learning, as well as their effectiveness in diagnostics and improvement of protection systems are considered.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, emergency conditions, electric power system, electrical networks, neural networks.

Применение ИИ и МО в энергосистемах становится актуальнее с каждым годом: рост сложности электроэнергетических систем; высокая стоимость аварий; ограниченность традиционных методов мониторинга и диагностики режимов; развитие ИИ и МО, применение их на современных цифровых станциях и подстанциях. Использование цифровых технологий позволяет принимать решения за единицы миллисекунд, прогнозировать как частые, так и редкие аварийные ситуации, обрабатывать информацию из сети и предлагать решения по оптимизации системы.

Таким образом, применение искусственного интеллекта для анализа аварийных режимов становится необходимым инструментом для повышения безопасности, снижения затрат на обслуживание и минимизации рисков в критических инфраструктурах.

Цель исследования – анализ возможностей ИИ и МО в прогнозировании и диагностике аварийных режимов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ аварийных режимов и традиционных методов их мониторинга и диагностики;
- проанализировать методы ИИ и МО для анализа аварий;
- описать примеры практического применения ИИ и МО.

Анализ аварийных режимов: традиционные методы и их ограничения

Современные российские энергосистемы представляют собой сложные динамические сети, работающие в условиях возрастания нагрузок и ужесточения требований к надежности, а также имеющие большую протяжённость линий, климатические условия. На текущий момент износ оборудования достиг 60 %: трансформаторы и ЛЭП эксплуатируются свыше 30 лет. Данные сети подвержены рискам аварийных ситуаций, таких как короткие замыкания (КЗ), перегрузки и каскадные отключения (отказы). Традиционные методы анализа, основанные на физико-математическом моделировании и решениях диспетчеров, часто приводят к большому времени срабатывания защит, неоптимальным и неоперативным решениям. Внедрение ИИ и МО может позволить выбирать оптимальные варианты ликвидации аварий, предугадывать возможные аварийные ситуации, повысить точность и скорость срабатывания защит [1].

Технические системы, несмотря на высокий уровень надежности, остаются подверженными аварийным ситуациям, которые могут приводить к значитель-

ным экономическим потерям, экологическому ущербу и угрозе жизни людей. Исторически сложившиеся методы анализа аварийных режимов, основанные на экспертных оценках, статистических моделях и физическом моделировании, демонстрируют ограниченную эффективность в условиях возрастающей сложности технологических процессов. В данном разделе рассматриваются ключевые традиционные подходы к диагностике и прогнозированию аварий, а также анализируются их основные недостатки.

Экспертные системы, основанные на формализованных знаниях специалистов, долгое время являлись основным инструментом анализа аварийных режимов. Эти системы используют заранее определенные логические правила и базы данных, содержащие информацию о типовых неисправностях и способах их устранения (таблица 1) [1].

Таблица 1 – Преимущества и недостатки экспертных систем

Преимущества	Недостатки
Высокая интерпретируемость принимаемых решений	Неспособность к обучению и адаптации при появлении новых типов отказов
Эффективность при анализе известных, хорошо изученных сценариев отказов	Зависимость от качества и полноты экспертных знаний
Относительная простота интеграции в существующие системы управления	Трудоемкость поддержания и актуализации базы правил в условиях модернизации оборудования

Составлено автором.

Примером ограничения экспертных систем может служить авария на Саяно-Шушенской ГЭС (2009 г.), где традиционные методы диагностики не смогли своевременно выявить развитие усталостных дефектов в турбине, что привело к катастрофическим последствиям [2].

Статистические подходы, включая регрессионный анализ, метод главных компонент и контрольные карты, широко применяются для выявления аномалий в работе оборудования. Эти методы основаны на обработке исторических данных с целью установления корреляций между параметрами системы (таблица 2) [1].

Ярким примером ограничений статистических методов является авария на АЭС «Фукусима-1» (2011 г.), где вероятностные модели риска не учитывали возможность одновременного воздействия землетрясения и цунами критической мощности [3].

Методы, основанные на построении детерминированных математических моделей, воспроизводящих физические процессы в оборудовании, обеспечивают наиболее точный анализ аварийных режимов (таблица 3). К ним относятся: расчеты напряженно-деформированного состояния конструкций; термодинамическое моделирование энергетических установок; гидродинамические расчеты трубопроводных систем [1].

Таблица 2 – Преимущества и недостатки статистических подходов

Преимущества	Недостатки
Простота реализации для стационарных процессов с четко выраженными закономерностями	Низкая эффективность при нелинейных и динамически изменяющихся процессах
Возможность количественной оценки вероятности возникновения аварийных ситуаций	Чувствительность к наличию шумов и выбросов в исходных данных
	Неспособность прогнозировать редкие, но катастрофические события из-за недостатка статистики

Составлено автором.

Традиционные методы анализа аварийных режимов, несмотря на свою значимость, демонстрируют принципиальную ограниченность в условиях усложняющихся технологических процессов. Это создает объективные предпосылки для активного внедрения методов искусственного интеллекта и машинного обучения, способных преодолеть указанные ограничения за счет адаптивности, способности работать с большими данными и выявлять сложные нелинейные зависимости [4].

Таблица 3 – Преимущества и недостатки физического моделирования

Преимущества	Недостатки
Высокая точность прогнозирования при корректных граничных условиях	Экспоненциальный рост вычислительной сложности при увеличении числа учитываемых факторов
Физическая обоснованность получаемых результатов	Необходимость точных входных данных, которые часто недоступны в реальных условиях
	Невозможность учета всех возможных внешних воздействий и человеческого фактора

Составлено автором.

Перспективным направлением представляется разработка гибридных систем, сочетающих физические модели с возможностями машинного обучения, что позволит сохранить преимущества традиционных подходов при одновременном устранении их ключевых недостатков.

Методы искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа аварийных режимов

Современные вычислительные технологии и алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ) открывают новые возможности для преодоления ограничений традиционных методов анализа аварийных режимов. В данном разделе рассматриваются ключевые подходы машинного обучения (МО), применяемые для прогнозирования, диагностики и предотвращения аварийных ситуаций в сложных технических системах.

В таблице 4 представлена классификация алгоритмов МО в зависимости от характера решаемых задач и доступных данных для анализа аварийных режимов [5, 6].

Примером входных данных для ИИ и МО могут служить:

- параметры сети (напряжение (U), ток (I), частота (f), активная/реактивная мощность (P, Q), $\cos \varphi$);
- данные релейной защиты, состояние оборудования (время срабатывания, осциллограммы типов повреждений, температура, показатели качества электроэнергии);
- архивные записи аварий;
- самообучение на новых данных и обучение на цифровых моделях.

Современные методы ИИ и машинного обучения предлагают мощный инструментарий для анализа аварийных режимов, превосходящий традиционные подходы по адаптивности и точности. Наибольшую эффективность демонстрируют гибридные подходы, сочетающие различные типы алгоритмов. Однако успешное внедрение этих методов требует решения проблем интерпретируемости решений, обеспечения качества данных и интеграции с существующими системами мониторинга.

Применение рассмотренных методов позволяет перейти от реактивного к предиктивному управлению безопасностью сложных технических систем, что особенно актуально в условиях роста их сложности и ответственности.

Таблица 4 – Классификация методов машинного обучения

Категория ИИ и МО	Наименование ИИ и МО	Примечания
Контролируемое обучение (Supervised Learning)	Деревья решений и Random Forest	Область применения: для идентификации типа аварии по признакам; для оценки вероятности аварии; прогнозирование параметров аварийного режима. Достоинства и недостатки: высокая точность при достаточном количестве размеченных данных; возможность количественной оценки вероятности аварии; требовательность к качеству и объему обучающей выборки; неспособность выявлять принципиально новые типы аварий
	Метод опорных векторов (SVM)	
	Логистическая регрессия	
	Линейная регрессия	
	Гребневая регрессия	
Неконтролируемое обучение (Unsupervised Learning)	Кластерный анализ (k-means, DBSCAN)	Область применения: для выявления скрытых паттернов; для снижения размерности данных. Достоинства и недостатки: не требуют априорных знаний об авариях; способность выявлять неизвестные ранее типы отказов; сложность интерпретации результатов; высокая вероятность ложных срабатываний
	Алгоритмы поиска аномалий (Isolation Forest, One-Class SVM)	
	Анализ главных компонент (PCA)	

Обучение с подкреплением (Reinforcement Learning): динамическое управление энергосистемами; предотвращение каскадных аварий	Q-learning	Область применения: динамическое управление энергосистемами; предотвращение каскадных аварий
	Глубокое обучение с подкреплением (Deep Q-Network)	

Составлено автором.

Практическое применение ИИ и МО

Рассмотрим успешные внедрения алгоритмов ИИ и МО в электросетевой комплекс.

Прогнозирование перегрузок в электросетях. Компания Siemens Energy внедрила систему на основе LSTM-сетей для прогнозирования нагрузок в умных сетях. Система анализирует исторические данные потребления; метеорологические показатели; данные SCADA-систем в реальном времени. Полученные результаты: снижение частоты аварийных отключений на 23 %; увеличение точности прогнозирования пиковых нагрузок до 92 % [7].

Мониторинг состояния энергетического оборудования. General Electric использует гибридную модель (CNN + Random Forest) для анализа вибрационных характеристик турбин; термографических изображений; данных химического состава масла. Полученные результаты: раннее обнаружение 85 % дефектов подшипников; сокращение времени диагностики с 8 часов до 15 минут [8].

Прогнозирование аварий в распределительных сетях 110-220 кВ. «Россети Центр» на основе технологии ансамбля из Gradient Boosting (XGBoost) и LSTM-сетей добились результатов: точность предсказания: 89 % (F1-score); ложные срабатывания: 12 %; экономический эффект: 23 млн руб. предотвращенного ущерба [9].

Мониторинг воздушных ЛЭП с помощью компьютерного зрения. ФСК ЕЭС используют мультиспектральный анализ изображений с БПЛА, архитектуру CNN (EfficientNetV2). Результаты: автоматизация 92 % инспекций; снижение времени обследования на 65 % [10].

Предотвращение каскадных аварий. Методология основана на детекции аномалий с помощью изолирующего леса (Isolation Forest), анализе топологий с применением графовых нейронных сетей, а также имитационного моделирования сценариев развития. С вышеуказанной система экстренного реагирования ОДУ Урала достигла следующих ключевых показателей: время обнаружения: 47 мс (против 350 мс у традиционных SCADA); точность классификации типов аварий: 94 %; предотвращено 4 каскадных отключения в 2022 г. [11].

Оптимизация восстановительных работ. Платформа управления аварийными бригадами (МРСК Сибири), основанная на прогнозе локаций повреждений (CatBoost) и маршрутизации Q-learning, достигла следующих результатов внедрения: сокращение среднего времени восстановления с 4 ч 12 мин до 2 ч 37 мин; оптимизация логистических затрат на 18 %.

Анализ специфических аварийных режимов. Выявление скрытых утечек в кабельных линиях, основанное на гибридной модели (физические уравнения + 1D-CNN), позволяет обеспечить чувствительность 0,95 при 5 % утечке, а также свести долю ложных срабатываний до 3 %.

Таким образом, практический опыт внедрения методов искусственного интеллекта и машинного обучения в электроэнергетических системах демонстрирует их высокую эффективность для анализа и предотвращения аварийных режимов. Реализованные решения позволяют не только существенно повысить надежность энергоснабжения, но и оптимизировать эксплуатационные затраты, сокращая экономические потери от аварий.

Интеграция интеллектуальных систем в энергетику открывает путь к созданию самоадаптирующихся («self-healing») сетей, способных минимизировать влияние аварий на потребителей и обеспечивать устойчивое энергоснабжение в условиях роста нагрузки и усложнения энергосистем.

Современные методы ИИ и МО демонстрируют существенное преимущество перед традиционными подходами к анализу аварийных режимов, обеспечивая более высокую точность (до 89–94 %) прогнозирования аварийных ситуаций; значительное сокращение времени обнаружения нештатных ситуаций (до 47 мс); возможность выявления сложных, слабозаметных и ранее неизвестных паттернов аварий.

Применение рассмотренных технологий открывает путь к созданию интеллектуальных самоадаптирующихся энергосистем нового поколения, обладающих повышенной надежностью и устойчивостью к аварийным ситуациям. Дальнейшее развитие работ в данном направлении имеет важное значение для обеспечения энергетической безопасности и бесперебойного электроснабжения потребителей в условиях усложнения энергосистем и роста требований к их надежности.

Список источников

1. ГОСТ Р 58094-2018. Электрические сети. Методы анализа аварийных режимов. Введ. 2019-07-01. М. : Стандартинформ, 2018. 27 с.
2. Кузнецов А. В., Петров С. К. Анализ причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС 17 августа 2009 года // Безопасность труда в промышленности. 2010. № 5. С. 45–52.
3. Танаев В. С., Григорьев М. Н. Анализ причин и последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» в марте 2011 года // Ядерная и радиационная безопасность. 2012. № 3(55). С. 28–37.
4. Веников В. А., Михайлов А. И. Переходные процессы в электроэнергетических системах. М. : Высшая школа, 1985. 320 с.
5. Матренин П. В., Манусов В. З. Применение методов искусственного интеллекта в задачах управления режимами электрических сетей Smart Grid. М. : Энергоатомиздат, 2021. 184 с.

6. Хальясмаа А. И. [и др.]. Применение методов искусственного интеллекта в задачах технической диагностики электрооборудования электрических систем. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2020. 245 с.
7. Müller A., Schmidt R. LSTM-based Load Forecasting in Smart Grids: Siemens Energy Case Study // IEEE Transactions on Power Systems. 2022. Vol. 37, № 3. P. 2145–2156.
8. Johnson M. K., Chen L., Anderson R. W. Hybrid CNN-Random Forest Model for Condition Monitoring of Power Generation Equipment // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2021. Vol. 17, № 5. P. 3421–3432.
9. Петров А. Н., Сидоров В. К., Козлов М. П. Прогнозирование аварийных режимов в распределительных сетях 110-220 кВ с использованием ансамблевых моделей машинного обучения // Электроэнергетика: проблемы и перспективы. 2022. Т. 14, № 3. С. 56–68.
10. Смирнов А. Д., Козлов В. П., Федоров И. Г. Применение мультиспектрального анализа и нейросетевых технологий для мониторинга воздушных ЛЭП // Энергетик. 2023. № 2. С. 34–42.
11. Кузнецов Е. Н., Михайлов А. А. Комплексный подход к предотвращению каскадных аварий в электроэнергетических системах на основе методов машинного обучения // Автоматика и вычислительная техника. 2023. Т. 57, № 4. С. 45–58.

References

1. GOST R 58094-2018. Elektricheskie seti. Metody analiza avariinykh rezhimov. [State Standard of the Russian federation. Introduced 2019-07-01] Moscow: Standartinform, 2018, 27 p. (in Russian)
2. Kuznetsov A.V., Petrov S. K. Analysis of the causes of the accident at the Sayano-Shushenskaya HPP on August 17, 2009 // *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. [Occupational safety in industry], 2010. No. 5. pp. 45-52. (in Russian)
3. Tanaev V. S., Grigor'ev M. N. Analysis of the causes and consequences of the accident at the Fukushima-1 nuclear power plant in March 2011 // *Iadernaia i radiatsionnaia bezopasnost*. [Nuclear and radiation safety], 2012, No. 3(55), pp. 28-37.
4. Venikov V. A., Mikhailov A. I. *Perekhodnye protsessy v elektroenergeticheskikh sistemakh* [Transient processes in electric power systems]. Moscow : Higher School, 1985, 320 p. (in Russian)
5. Matrenin P. V., Manusov V. Z. *Primenenie metodov iskusstvennogo intellekta v zadachakh upravleniia rezhimami elektricheskikh setei Smart Grid* [Application of artificial intelligence methods in the tasks of controlling the modes of Smart Grid electric networks]. Moscow : Energoatomizdat, 2021, 184 p. (in Russian)
6. Khal'iasmaa A. I. [et al.]. *Primenenie metodov iskusstvennogo intellekta v zadachakh tekhnicheskoi diagnostiki elektrooborudovaniia elektricheskikh system*. [Application of artificial intelligence methods in the tasks of technical diagnostics of

electrical equipment of electrical systems]. St. Petersburg : Polytechnic University Publishing House, 2020, 245 p. (in Russian)

7. Müller A., Schmidt R. LSTM-based Load Forecasting in Smart Grids: Siemens Energy Case Study // IEEE Transactions on Power Systems. 2022, Vol. 37, № 3, pp. 2145-2156.

8. Johnson M. K., Chen L., Anderson R. W. Hybrid CNN-Random Forest Model for Condition Monitoring of Power Generation Equipment // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2021, Vol. 17, № 5, pp. 3421–3432.

9. Petrov A. N., Sidorov V. K., Kozlov M. P. Forecasting of emergency modes in 110-220 kV distribution networks using ensemble machine learning models // *Elektroenergetika: problemy i perspektivy*. [Electric power industry: problems and prospects], 2022, Vol. 14, No. 3, pp. 56-68. (in Russian)

10. Smirnov A.D., Kozlov V. P., Fedorov I. G. Application of multispectral analysis and neural network technologies for monitoring overhead power lines // *Energetik* [The power engineer], 2023, No. 2, pp. 34-42. (in Russian)

11. Kuznetsov E. N., Mikhailov A. A. An integrated approach to the prevention of cascade accidents in electric power systems based on machine learning methods // *Avtomatika i vychislitel'naya tekhnika* [Automation and computer technology], 2023. Vol. 57, No. 4, pp. 45-58. (in Russian)

УДК 621.3.049.75:004.356.2

ПРОИЗВОДСТВО ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАКЕТОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ПРИ ПОМОЩИ 3D-ПРИНТЕРА

3D PRINTING OF FUNCTIONAL PCB PROTOTYPES

Ноговицына Виктория Михайловна

38.03.01 Экономика

Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: panteleevanatala65@gmail.com

Максимов Максим Александрович

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: maksanyth@gmail.com

Научный руководитель: канд. техн. наук, старший преподаватель

Парамзин Александр Олегович

Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

Victoria M. Nogovitsyna

38.03.01 Economics

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: panteleevanatala65@gmail.com

Maksim A. Maximov

13.03.02 Electrical Power Engineering

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: maksanyth@gmail.com

Scientific adviser: PhD in Engineering, Senior Lecturer

Alexander O. Paramzin

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. Работа посвящена решению проблемы ускоренного прототипирования и изготовления малых партий сложных электронных устройств с применением оборудования 3D-печати – фотополимерного принтера. Современные методы производства печатных плат требуют многоэтапных процессов. Заказ опытной партии в условиях промышленного производства для изготовления прототипов электронных устройств является избыточным. Показана возможность модификации существующих термотрансферных и фоторезистивной технологий изготовления печатных плат за счет введения в цикл производства «звена» фотополимерной печати, которое позволяет добиться снижения затрат на изготовление небольших партий изделий и на выходе получить прототипы с размером дорожек 0,2 мм и более с соответствующим зазором между ними.

Ключевые слова: фоторезист, прототипирование, печатные платы, 3D-принтер, УФ-засветка.

Annotation. The abstract is devoted to solving the problem of accelerated prototyping and manufacturing of small batches of complex electronic devices. Modern methods of printed circuit board production require multistage processes. Ordering a pilot batch in the conditions of industrial production for manufacturing prototypes of electronic devices is redundant. The paper shows the possibility of modifying the existing thermal transfer and photoresistive technologies of PCB manufacturing. Such modification allows to reduce time and financial expenses at manufacturing of small batches of products and at the output to receive prototypes with the size of tracks 0,2 mm and more with the corresponding gap between them.

Keywords: photoresist, prototyping, printed circuit boards, 3D printer, UV illumination.

Традиционные технологии производства печатных плат были разработаны ещё в середине XX века, когда широкое распространение получили схемы на печатных платах взамен проволочных соединений и навесного монтажа компонентов. Тем не менее проблема прототипирования печатных плат в лабораторных условиях существует на протяжении последних 20 лет [1]. Трудности прототипирования продиктованы особенностями традиционных процессов (фотолитография, химическое травление, сверловка отверстий и др.), которые изначально создавались именно для массового промышленного производства больших партий однотипных плат, а не для быстрой разработки новых конструкций и проработки экспериментальных решений.

Зачастую разработчики сталкиваются с проблемой длительного цикла подготовки опытных образцов и высокой стоимости изготовления единичных макетов уже несколько десятков лет. По результатам анализа российского рынка производства печатных плат [2] в последние годы отмечается заметное сокращение их числа. Данный факт оказывает косвенное влияние на стоимость, время и доступность быстрого прототипирования.

С началом XXI века для изготовления печатных плат стало активно развиваться направление аддитивных технологий, когда начали появляться специализированные принтеры и материалы, способные формировать проводящие слои и компоненты непосредственно методом послойного нанесения материалов [3]. Актуальность быстрого и доступного изготовления макетов печатных плат сохраняется уже многие годы. Эта потребность остается востребованной во всех отраслях технической промышленности. Примечательно, что она не теряет своей значимости даже после десятилетий совершенствования традиционных производственных методов. Современные технологические вызовы продолжают стимулировать поиск новых решений в этой области.

Производство печатных плат (рисунок 1) объединяет несколько технологий, которые подразделяют на аддитивные и субстративные.

Аддитивные методы включают сеткографию проводящими пастами, нанесенными через трафарет, электрохимическое осаждение меди, или используется

токопроводящая печать струйными чернилами. Под традиционными принято понимать химическое травление (фоторезист), фрезерование и термотрансферную (ЛУТ) технологию.

В качестве недостатков субстративных методов можно выделить значительные отходы меди и химикатов, большой ущерб экологии за счёт использования агрессивных веществ, сложность создания сверхмалых дорожек без дорогостоящего оборудования, а также высокую стоимость при мелкосерийном производстве [4].

Для аддитивных методов характерны высокая стоимость оборудования и материалов, наличие микротрещин при использовании лазеров и науглероживание краёв дорожек, а некоторые чернила и пасты содержат наночастицы, требующие особой утилизации [5].

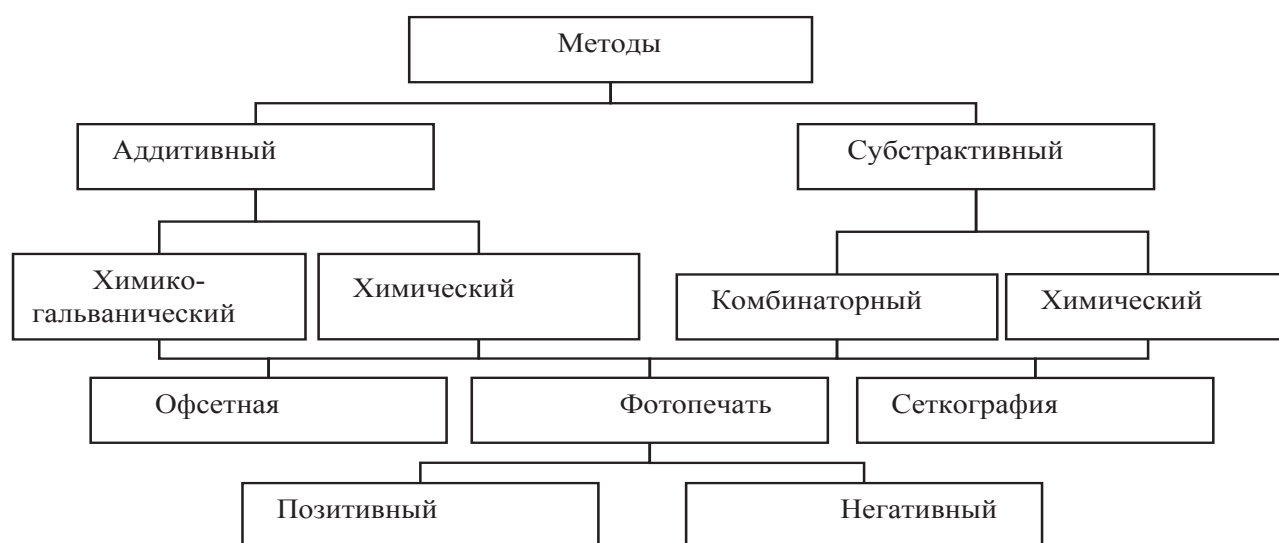


Рисунок 1 – Классификация методов изготовления печатных плат (составлено авторами)

В данной работе продемонстрирована возможность использования фотополимерной печати для эффективного и экономически выгодного производства функциональных макетов печатных плат за счет комбинации с ЛУТ и фоторезистивной технологией для устранения паразитной засветки, недостаточного разрешения и других дефектов, обеспечивая высокую точность воспроизведения топологии и удовлетворительную функциональность изготовленных макетов.

Этапы создания печатной платы предлагаемым методом показаны на рисунке 2 и включают: 1) обработку краев текстолита и обезжиривание; 2) удаление защитного слоя фоторезиста, ликвидацию воздушной прослойки между пленкой и текстолитом; 3) размещение платы на матрице фотополимерного принтера и засветку; 4) проявку платы в растворе Na_2CO_3 ; 5) удаление незасвеченных участков в растворе FeCl_3 ; 6) промывку органическим растворителем; 7) нанесение паяльной пасты для защиты дорожек; 8) нанесение цветной маски на неактивные участки.

Ключевое преимущество предлагаемой технологии достигается на этапе экспонирования за счет перпендикулярной проекции ультрафиолетовых лучей с

высокой плотностью (>534 PPI против 300 PPI при подготовке шаблона засветки на струйном принтере) на засвечиваемую поверхность.



Рисунок 2 – Этапы создания печатной платы (составлено авторами)

Для подготовки исполнительного файла для работы принтера была разработана трехмерная модель шаблона печатной платы со следующими элементами: прямоугольные сегменты размером от 0,1 до 2 мм с шагом 0,1 мм между друг другом; дорожки с углом 90 градусов размером от 0,1 до 2 мм с шагом 0,1 мм между соседними дорожками и кольцевые сегменты с аналогичным размером токоведущих и изолированных частей. Такой шаблон позволяет оценить возможность изготовления печатных плат для наиболее популярных радиокомпонентов и микропроцессоров, используемых при прототипировании.

Процесс изготовления показан на рисунке 3, в качестве инструмента засветки был использован фотополимерный принтер Anycubic Photon S с временем засветки 110, 120, 130 и 140 секунд. Нанесение фоторезиста выполнено на пакетном ламинаторе PingDa PD330-1 при температуре 120 градусов.

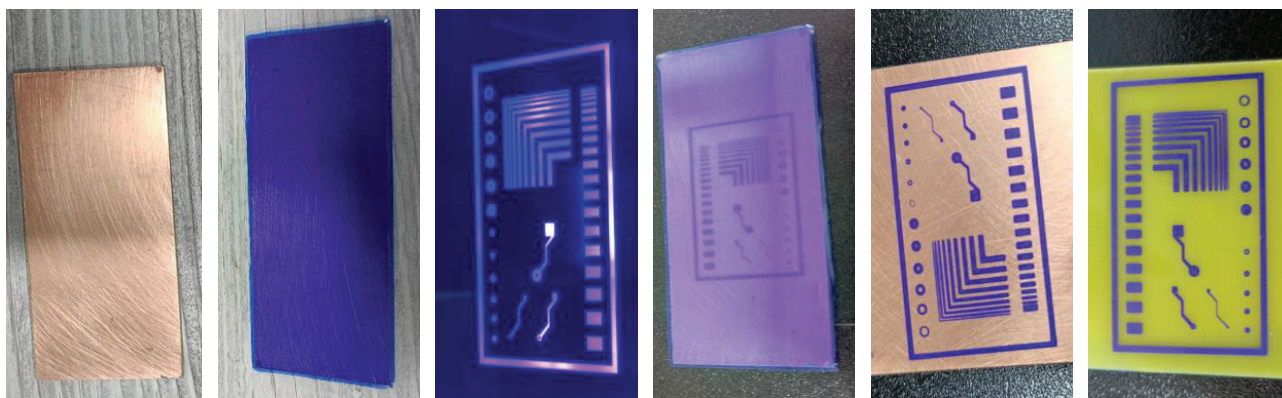


Рисунок 3 – Шаблон печатной платы на разных этапах изготовления (составлено авторами)

Оценка качества изготовления используемых в шаблоне элементов в зависимости от времени засветки представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры токоведущих частей изготовленных прототипов

Время засветки, сек	Min толщина дорожки, мм	Max толщина дорожки, мм	Min толщина сегмента, мм	Max толщина сегмента, мм	Min диаметр отверстия, мм	Max диаметр отверстия, мм
110	-	1	0,1	2	0,09	1
120	0,2	1	0,2	2	0,1	1
130	0,3	1	0,3	2	0,1	1
140	0,5	1,2	0,75	2,2	0,2	1

Составлено авторами.

Наиболее точные результаты были получены при времени засветки, равном 120 секундам, и показаны на рисунке 4. В этом случае достигается необходимое расстояние между дорожками, а геометрические размеры последних соответствуют размерам при подготовке шаблона.

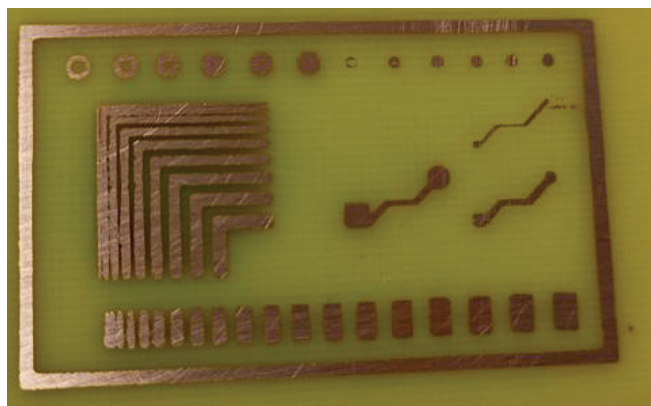


Рисунок 4 – Печатная плата при времени засветки 120 секунд (составлено авторами)

Уменьшение времени засветки не позволяет закрепить фоторезист на слое меди должным образом, что в процессе проявки и удаления медного слоя приводит к дефектам токоведущих частей.

Время засветки более 130 секунд приводит к переэкспонированию с невозможностью разделения отдельных дорожек и токоведущих частей из-за увеличения геометрических размеров.

По результатам данной работы можно сделать вывод о возможности использования фотополимерного принтера или дисплея с УФ-излучением в качестве «звена» модификации лазерно-утюжной и фоторезистивной технологии при производстве функциональных макетов печатных плат в лабораторных и домашних условиях.

При использовании представленной в данной работе технологии изготовления возможно получить качественное изготовление токоведущих частей с размерами и зазорами 0,2 мм и более.

Изложенный в данной работе подход может быть использован при изготовлении реальных прототипов, в том числе с использованием микроконтроллеров типа STM32.

В качестве перспектив возможна разработка комбинированного метода изготовления печатной платы, в т. ч. двухслойной, по полному циклу с использованием оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) и фотополимерного принтера.

Список источников

1. История производства печатных плат // Гальваник. URL: http://galvanicus.ru/pc_boards/history.php (дата обращения: 11.06.2025).
2. Кучерявый А. Российский рынок печатных плат: взгляд производителя // Компоненты и технологии. 2006. № 59. С. 8–10.
3. Денисова М. П., Будаев А. В. Классификация оборудования для производства печатных плат. Виды контроля качества печатных плат // Auditorium. 2024. № 2(42). С. 93–105.
4. Брусницына Л. А., Степановских Е. И. Технология изготовления печатных плат. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. 200 с.
5. Громов Д. Б. Проблемы струйной печати токопроводящих структур // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2020. № 3. С. 45–59.

References

1. Istoriia proizvodstva pechatnykh plat// Gal'vanik. [The history of printed circuit board production // Gal'vanik]. Available at: http://galvanicus.ru/pc_boards/history.php (Accessed 11 June 2025) (in Russian)
2. Kucheriavyi A. The Russian market of printed circuit boards: a manufacturer's view // *Komponenty i tekhnologii* [Components and technologies], 2006, No. 59, pp. 8-10. (in Russian)
3. Denisova M. P., Budaev A. V. Classification of equipment for the production of printed circuit boards. Types of quality control of printed circuit boards // *Auditorium* [Auditorium], 2024, No. 2(42), pp. 93-105. (in Russian)
4. Brusnitsyna L. A., Stepanovskikh E. I. *Tekhnologiya izgotovleniya pechatnykh plat* [Technology of manufacturing printed circuit boards]. Yekaterinburg : Ural University Publishing House, 2015, 200 p. (in Russian)
5. Gromov D. B. Problems of inkjet printing of conductive structures // *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Priborostroenie*. [Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Instrument engineering]. 2020, No. 3, pp. 45-59.

УДК 621.3.026.5:621.311

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

ECONOMIC EFFICIENCY OF REACTIVE POWER COMPENSATION IN INDUSTRIAL ELECTRIC NETWORKS

Рыбалко Алиса Викторовна

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: alisa.rybalko@inbox.ru

Научный руководитель: канд. техн. наук Ткаченко Всеволод Андреевич

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Alisa V. Rybalko

13.03.02 Electric Power Engineering and Electrical Engineering

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: nechukinvlad@mail.ru

Scientific adviser: PhD in Engineering Vsevolod A. Tkachenko

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. В статье рассматривается влияние компенсации реактивной мощности на экономическую эффективность работы промышленных предприятий 0,4 кВ. Производится анализ методов компенсации и их технико-экономических преимуществ. Рассмотрены результаты расчетов снижения потерь электроэнергии и уменьшения затрат на её передачу.

Ключевые слова: компенсация, реактивная мощность, промышленные электрические сети, экономическая эффективность.

Annotation. The article examines the impact of reactive power compensation on the economic efficiency of 0.4 kV industrial enterprises. The analysis of compensation methods and their technical and economic advantages is carried out. The results of calculations for reducing electricity losses and reducing transmission costs are considered.

Keywords: compensation, reactive power, industrial electrical networks, economic efficiency.

Современные промышленные предприятия 0,4 кВ в большинстве случаев используют электрооборудование со значительной долей индуктивной нагрузки – в среднем 60 % (асинхронные двигатели, трансформаторы, индукционные печи и др.), что без устройств компенсации реактивной мощности приводит к:

- уменьшению доли полезной активной мощности в линиях электропередачи (ЛЭП) и трансформаторах;
- увеличению потерь энергии в сетях;
- выбору электротехнических устройств с завышенной номинальной мощностью, а следовательно, и стоимостью [1].

Установка (замена) трансформаторов и другого оборудования с повышением номинальной мощности, а также увеличение сечений проводов являются слишком затратными способами решения проблем [2, 3]. Поэтому компенсация реактивной мощности (КРМ) – оптимальный вариант по совокупности эффективности и стоимости [4].

Методы компенсации реактивной мощности [5]:

- батареи статических конденсаторов (БСК) – наиболее распространенный вид электроустановок, состоящий из конденсаторов и устанавливаемый на стороне НН или ВН;
- статические (тиристорные) компенсаторы 0,4 кВ – конденсаторная установка (КУ), регулирующая генерацию реактивной мощности.

Снижение потерь электроэнергии с помощью КРМ

Потери мощности (энергии) связаны пропорциональной зависимостью с током, протекающим в элементах сети (ЛЭП и трансформаторах и др.).

Нагрузочный ток одной фазы $I_{нагр}$ определяется по выражению:

$$I_{нагр} = \frac{\sqrt{P_{нагр}^2 + Q_{нагр}^2}}{\sqrt{3}U_{ном}}, \quad (1)$$

где $P_{нагр}$, $Q_{нагр}$ – активная и реактивная мощности нагрузки; $U_{ном}$ – номинальное напряжение сети.

Тогда нагрузочные потери мощности на электроустановке можно определить следующим образом:

$$\Delta P_{нагр} = 3I_{нагр}^2 R_{уст} = \frac{S_{нагр}^2}{U_{ном}^2} R_{уст} = \frac{P_{нагр}^2 + Q_{нагр}^2}{U_{ном}^2} R_{уст}, \quad (2)$$

где $R_{уст}$ – активное сопротивление электроустановки; $S_{нагр} = \sqrt{P_{нагр}^2 + Q_{нагр}^2}$ – полная мощность нагрузки.

При уменьшении реактивной мощности нагрузки на величину $Q_{КУ}$ согласно формуле (2) нагрузочный ток уменьшается, следовательно, уменьшатся и нагрузочные потери активной мощности:

$$\Delta P_{нагр} = \frac{P_{нагр}^2 + (Q_{нагр} - Q_{КУ})^2}{U_{ном}^2} R_{уст}. \quad (3)$$

Выражение (3) используется при определении нагрузочных потерь мощности на ЛЭП, а также трансформаторах и др.

При полной загрузке и номинальном напряжении на зажимах КУ необходимая емкостная мощность $Q_{КУ}$ определяется по следующим выражениям:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{нагр} - Q_{КУ}}{P_{нагр}}, \quad (4)$$

$$Q_{КУ} = Q_{нагр} - P_{нагр} \operatorname{tg} \varphi, \quad (5)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности.

Согласно [6], максимально допустимое значение коэффициента реактивной мощности, потребляемой в часы больших суточных нагрузок (с 7:00 до 23:00) электрической сети, равно 0,35. В основном коэффициент реактивной мощности асинхронных двигателей находится в диапазоне от 0,48 до 1,02, но может варьироваться в зависимости от исполнения и условий эксплуатации. Примем за исходное значение коэффициента верхнюю границу диапазона, тогда мощность КУ будет равна:

$$Q_{КУ} = 0,67 P_{нагр}. \quad (6)$$

Эффективность снижения условно-переменных потерь в элементах сети после компенсации реактивной мощности определяется отношением нагрузочных потерь до и после компенсации:

$$\frac{\Delta P - \Delta P_{КУ}}{\Delta P} = 0,258. \quad (7)$$

Таким образом, при любом начальном значении активной мощности P после установки КРМ эффективность снижения нагрузочных потерь составляет ~25,8 % для каждого элемента сети.

Основная мощность промышленных предприятий, относящихся к классу средней мощности, обычно находится в диапазоне от 30 до 670 кВт. Таким образом, основываясь на тарифах для предприятий из [7], при средней стоимости электроэнергии 7,35 руб/кВт•ч для промышленности с асинхронными двигателями (500 кВт), напряжением 0,4 кВ за год работы 12-часовой смены (4380 ч), с учетом сопротивления линии $R_{л} = 0,004$ Ом, экономия составит до 250 тыс. рублей в год за счет снижения потерь электроэнергии.

Экономия от замены оборудования (трансформаторы, кабели/провода)

Рассмотрим на простейшем примере: трансформатор – линия – нагрузка (рисунок 1) экономию от установки КУ у электроприемника.

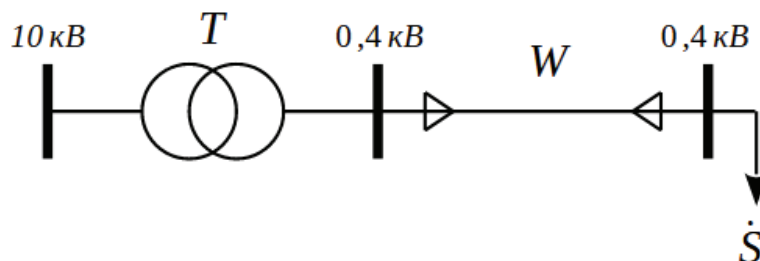


Рисунок 1 – Простейшая электрическая схема, где G – генератор (источник питания), W – линия, T – трансформатор, S – нагрузка (составлено автором)

Исходные данные для расчета:

Нагрузка: $P_{нагр} = 100 \text{ кВт}$, $\cos\varphi = 0,7 \rightarrow Q_{нагр} = 102 \text{ квар}$.

Желаемый $\cos\varphi' = 0,95 \rightarrow Q'_{нагр} = 33 \text{ квар}$.

Трансформатор: $S_{тр} = 160 \text{ кВА}$, $\Delta P_{xx} = 0,5 \text{ кВт}$, $\Delta P_{кз} = 2,5 \text{ кВт}$.

Кабель: $r_{0,КЛ} = 0,1 \text{ Ом/км}$, $x_{0,КЛ} = 0,07 \text{ Ом/км}$, $L_{КЛ} = 0,05 \text{ км}$.

Тариф: $C = 5 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$.

Таким образом, мощность БСК будет равна:

$$Q_{КУ} = Q_{нагр} - Q'_{нагр} = 102 - 33 = 69 \text{ квар} . \quad (8)$$

Потери до компенсации:

$$S_{нагр} = \frac{P_{нагр}}{\cos\varphi} = \frac{100}{0,7} = 143 \text{ кВА} , \quad (9)$$

$$\Delta P_{тр} = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot \left(\frac{S_{нагр}}{S_{тр}} \right)^2 = 0,5 + 2,5 \cdot \left(\frac{143}{160} \right)^2 = 2,5 \text{ кВт} . \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{КЛ} &= 3I_{нагр}^2 R_{КЛ} = 3 \cdot \left(\frac{S_{нагр}}{\sqrt{3}U_{ном}} \right)^2 r_{0,КЛ} L_{КЛ} = \\ &= 3 \cdot \left(\frac{143}{\sqrt{3} \cdot 0,4} \right)^2 \cdot 0,1 \cdot 0,05 = 636,54 \text{ Вт} \rightarrow 0,64 \text{ кВт} . \end{aligned} \quad (11)$$

Потери после компенсации:

$$S'_{нагр} = \frac{P_{нагр}}{\cos\varphi'} = \frac{100}{0,95} = 105 \text{ кВА} , \quad (12)$$

$$\Delta P'_{тр} = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot \left(\frac{S'_{нагр}}{S_{тр}} \right)^2 = 0,5 + 2,5 \cdot \left(\frac{105}{160} \right)^2 = 1,58 \text{ кВт} , \quad (13)$$

$$\Delta P'_{KL} = 3 \cdot \left(\frac{S'_{нагр}}{\sqrt{3} U_{ном}} \right)^2 r_{0,KL} L_{KL} =$$

$$= 3 \cdot \left(\frac{105}{\sqrt{3} \cdot 0,4} \right)^2 \cdot 0,1 \cdot 0,05 = 346,56 \text{ Вт} \rightarrow 0,35 \text{ кВт.} \quad (14)$$

Годовая экономия:

$$\mathcal{E}_{год} = (\Delta P_{mp} - \Delta P'_{mp}) + (\Delta P_{KL} - \Delta P'_{KL}) \cdot C \cdot 8760 =$$

$$= (2,5 - 1,58) + (0,64 - 0,35) \cdot 5 \cdot 8760 \approx 53000 \text{ руб / год.} \quad (15)$$

Срок окупаемости установки КУ (БСК-0,4-50-25) [8]:

Стоимость КУ: 50 *квар* \approx 50000 руб.

Стоимость монтажа и пусконаладки: \approx 20000 руб.

Общие затраты: $C_{КУ} = 70000$ руб.

$$T = \frac{C_{КУ}}{\mathcal{E}_{год}} = \frac{70000}{53000} \approx 1,32 \text{ года (16 мес).} \quad (16)$$

Компенсация реактивной мощности позволяет существенно снизить потери электроэнергии в сетях и уменьшить плату за потребляемую реактивную мощность. Срок окупаемости капитальных вложений в системы компенсации реактивной мощности составляет в среднем 1–3 года [9] в зависимости от мощности предприятия и тарифов на электроэнергию. Внедрение систем компенсации реактивной мощности, помимо прямого экономического эффекта, дает дополнительные преимущества: повышение качества электроэнергии [10], увеличение пропускной способности сетей [11], снижение нагрузки на оборудование.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что установка КУ является экономически целесообразной для большинства промышленных предприятий.

Список источников

1. Дуюнов Д. А. Асинхронный двигатель с совмещенными обмотками // Энергосовет. 2013. № 2 (27). С. 34–38.
2. Мавлюкешев А. А., Гребнев Г. Д. Экономическая эффективность мероприятий по снижению потерь электрической энергии // Экономика и социум. 2016. № 12-3 (31). С. 610–614.
3. Хатанова И. А., Елизарова А. А. Техничко-экономическое обоснование замены трансформаторов // Проблемы энергетики. 2007. № 11-12. С. 45–49.
4. Устройства компенсации реактивной мощности КРМ-0,4 // Группа ВП-Альянс. URL: https://vp-alliance.ru/stati/article_post/ustroystva-kompensatsii-reaktivnoy-moshchnosti-krm-0-4 (дата обращения: 12.05.2025).

5. Современные методы компенсации реактивной мощности. URL: <https://www.mircond.com/blog/sovremennyye-metody-kompensatsii-reaktivnoy-moshchnosti/> (дата обращения: 12.05.2025).
6. О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии». Приказ от 23 июня 2015 г. № 380 // Контур.Норматив. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=256534> (дата обращения: 16.05.2025).
7. Тарифы на электроэнергию для малых предприятий и ИП // Time2Save. URL: <https://time2save.ru/tarify-na-elektroenergiu-dla-malih-predpriyatiy-i-ip> (дата обращения: 14.05.2025).
8. Батарея статических конденсаторов 50 квар, 0,4 кВ // Энергокомплект. URL: <https://energocomplekt.ru/> (дата обращения: 23.06.2025).
9. Расчет экономического эффекта от энергоснабжения конденсаторных установок КРМ // ХомовЭлектро. URL: <https://khomovelectro.ru/articles/raschet-ekonomicheskogo-effekta-ot-vnedreniya-kondensatornykh-ustanovok-krm.html> (дата обращения: 23.05.2025).
10. Белицын И. В., Голомонзин Д. Ю. Компенсация реактивной мощности как средство повышения качества электрической энергии // Евразийское научное объединение. 2020. № 10-2(68). С. 84–86.
11. Устройства продольной и поперечной компенсации // СВЭЛ. URL: <https://svel.ru/articles/ustroystva-prodolnoy-i-poperechnoy-kompensatsii.html> (дата обращения: 23.05.2025).

References

1. Duiunov D. A. Asynchronous motor with combined windings // Energosovet [Energosovet], 2013, No. 2 (27), pp. 34-38.
2. Mavliukeshev A. A., Grebnev G. D. Economic efficiency of measures to reduce electric energy losses // *Ekonomika i sotsium* [Economics and society], 2016, No. 12-3 (31), pp. 610-614.
3. Khatanova I. A., Elizarova A. A. Feasibility study of transformer replacement // *Problemy energetiki* [Problems of power engineering], 2007, No. 11-12, pp. 45-49.
4. Ustroystva kompensatsii reaktivnoi moshchnosti KRM-0,4 // Gruppa VP-All'ians. [Reactive power compensation devices RPC-0,4 // VP-Alliance Group]. Available at: https://vp-alliance.ru/stati/article_post/ustroystva-kompensatsii-reaktivnoy-moshchnosti-krm-0-4 (Accessed 12 May 2025) (in Russian)
5. Sovremennyye metody kompensatsii reaktivnoi moshchnosti [Modern methods of reactive power compensation]. Available at: <https://www.mircond.com/blog/sovremennyye-metody-kompensatsii-reaktivnoy-moshchnosti/> (Accessed 12 May 2025) (in Russian)
6. Order No. 380 dated June 23, 2015 “On the procedure for calculating the values of the ratio of active and reactive power consumption for individual energy

receiving devices (groups of energy receiving devices) of electric energy consumers”. *Spravочно-pravovaia sistema “Kontur.Normativ”*. [Reference and legal system “Contour.Normative”]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=256534> (Accessed 16 May 2025) (in Russian)

7. Tarify na elektroenergiu dlia mal'kh predpriatii i IP // Time2Save. ”. [Electricity tariffs for small businesses and sole proprietors // Time2Save]. Available at: <https://time2save.ru/tarify-na-elektroenergiu-dla-malih-predpriyatiy-i-ip> (Accessed 23 June 2025) (in Russian)

8. Batareia staticheskikh kondensatorov 50 kvar, 0,4 kV // *Energokomplekt* [Battery of static capacitors 50 kVAR, 0.4 kV // Energokomplekt]. Available at: <https://energokomplekt.ru/> (Accessed 23 June 2025) (in Russian)

9. Raschet ekonomicheskogo effekta ot energosnabzheniia kondensatornykh ustanovok KRM // KhomovElectro [Calculation of the economic effect of the energy supply of the RPC condenser units // Khomovelectro]. Available at: <https://khomovelectro.ru/articles/raschet-ekonomicheskogo-effekta-ot-vnedreniya-kondensatornykh-ustanovok-krm.html> (Accessed 23 May 2025) (in Russian)

10. Belitsyn I. V., Golomonzin D. Iu. Reactive power compensation as a means of improving the quality of electric energy // *Evraziiskoe nauchnoe ob'edinenie* [Eurasian Scientific Association]. 2020, No. 10-2(68), pp. 84-86.

11. Ustroistva prodol'noi i poperechnoi kompensatsii // SVEL. [The device of longitudinal and transverse compensation // SVEL]. Available at: <https://svel.ru/articles/ustroystva-prodolnoy-i-poperechnoy-kompensatsii.html> (Accessed 23 May 2025) (in Russian)

**РАЗВИТИЕ ОТВЕТСТВЕННОГО (ОСОЗНАННОГО) ТУРИЗМА
НА ПРИМЕРЕ ЭКОРЕАБИЛИТАЦИИ ЛЕСОПАРКА
В ГОРОДЕ КУРГАНЕ**

**THE DEVELOPMENT OF RESPONSIBLE (CONSCIOUS) TOURISM:
A CASE STUDY OF THE ECO-REHABILITATION OF A FOREST PARK
IN KURGAN**

Щербина Виктория Дмитриевна

43.04.01 Сервис

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: viktoriasherbinin7@yandex.ru

Научный руководитель: канд. геогр. наук, доцент

Есипова Светлана Александровна

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Viktoria D. Scherbinina

43.04.01 Service

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: viktoriasherbinin7@yandex.ru

Scientific adviser: Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor

Svetlana A. Esipova

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. В работе рассматривается устойчивое развитие туризма и одно из его направлений – ответственный туризм. На примере благоустройства и экореабилитации лесопарка в городе Кургане анализируются виды ответственности при развитии ответственного туризма: социальная, экономическая, экологическая.

Ключевые слова: устойчивое развитие туризма, устойчивый туризм, ответственный туризм, экопарк, экореабилитация, благоустройство, экологическая ответственность, экономическая ответственность, социальная ответственность.

Annotation. The paper deals with sustainable tourism development and one of its directions – responsible tourism. On the example of improvement and eco-rehabilitation of the forest park in the city of Kurgan the types of responsibility in the development of responsible tourism are analysed: social, economic, environmental.

Keywords: sustainable tourism development, sustainable tourism, responsible tourism, ecopark, eco-rehabilitation, eco-improvement, environmental responsibility, economic responsibility, social responsibility.

Туризм является одной из ведущих отраслей экономики, способствует развитию различных регионов, культурному обогащению населения. Но вместе с тем туризм обладает и теми характеристиками, которые могут оказывать негативное влияние в первую очередь на природную среду. Массовый туризм стал приводить к экологическим, социально-культурным, экономическим проблемам, а также может наносить ущерб местным сообществам и инфраструктуре регионов, выводя их из привычного режима. Поэтому мировая тенденция устойчивого развития коснулась и сферы туризма.

Устойчивый туризм – это туризм, в полной мере обеспечивающий учет его нынешних и будущих экономических, социальных и экологических последствий при удовлетворении потребностей туристов, индустрии туризма, окружающей среды и принимающих общин [1]. Принципами, на которых основывается устойчивый туризм, являются экологические, экономические и социокультурные аспекты развития туризма:

- устойчивый туризм должен обеспечивать оптимальное использование природных ресурсов и способствовать сохранению биоразнообразия и природных ресурсов;

- устойчивый туризм должен уважать социокультурные особенности принимающих сообществ, способствовать межкультурному пониманию;

- устойчивый туризм должен гарантировать долгосрочные экономические операции, занятость населения, рабочие места и повышение доходов населения [2]. Понятие устойчивого туризма также связано с устойчивым развитием туризма.

Устойчивое развитие туризма – это концепция, которая рассчитана на долгосрочный период и предполагает планирование и управление туризмом с целью улучшения качества жизни местного населения, охраны природы и защиты окружающей среды [3]. Концепция была введена в 1995 году Всемирной туристской организацией [3]. Стоит отметить, что, по данным рэнкинга устойчивости развития туризма и индустрии гостеприимства в субъектах Российской Федерации за 2023 год, Курганская область занимает 71 место из 85 возможных. Уровень устойчивости развития в области определен как начальный, что свидетельствует о низких экологических и управленческих индексах [4].

Одним из направлений устойчивого развития туризма является ответственный туризм, также его могут называть осознанным туризмом или осознанным экотуризмом. Эти виды туризма достаточно схожи и имеют общие цели, задачи и принципы.

Осознанный экотуризм – это путешествия с целью снижения негативного влияния на природную среду, заботы об окружающей среде и поддержки местных сообществ [5].

Принципы осознанного экотуризма напрямую связаны с экологией:

- выбор непопулярных туристических мест для снижения рекреационной нагрузки на популярные места;

- использование по возможности наиболее экологичных видов транспорта, таких как поезд, автобус, автомобиль;

- соблюдение правила невмешательства в дикую природу;
- использование многоразовых вещей во время путешествия;
- поддержка местных сообществ;
- выбор «правильных» сувениров, т. е. сувениров, которые прослужат долго, будут полезным подарком;
- совмещение путешествия и помощи природе, участие в природоохранных мероприятиях [6].

Одной из наиболее доступных и понятных форм осознанного экотуризма является посещение экологических троп [7].

Осознанный туризм – это путешествия с минимальным воздействием на природную среду, путешествия с целью поддержки местных сообществ, охраны окружающей среды [8]. Принципы осознанного туризма сводятся к защите природы, помощи в развитии принимающих регионов и уважению местных традиций [8].

Ответственный туризм – это туризм, в котором удовлетворяются и решаются экономические, социальные и культурные потребности без ущерба для целостности, экологии и дикой природы принимающей территории [9].

Концепция ответственного туризма существует с 1996 года, но после Кейптаунской декларации 2002 года концепция сформировалась окончательно. Тогда были определены цели и факторы ответственного туризма. На сегодняшний день ответственный туризм основывается на трех видах ответственности:

- экологической;
- экономической;
- социальной [10].

Сущность ответственного туризма заключается в том, чтобы создавать лучшие места для проживания и лучшие места для посещения. Ответственный туризм требует, чтобы все участники, задействованные в организации путешествия, в том числе и сами туристы, брали ответственность и предпринимали действия для того, чтобы туризм стал более экологичным и социально стабильным [9].

Ответственный туризм также является некапиталоемким видом, так как он может развиваться на тех территориях, которые принято считать неперспективными или малоперспективными для развития туризма [11].

В 2012 году председатель градостроительного совета города Плеса А. В. Швецов в рамках второго конгресса Ассоциации новаторских городов сформулировал принципы ответственного туризма, основываясь на опыте Плеса:

- минимум вмешательства в архитектурную и природную среду;
- выбор собственного вектора развития территории;
- постепенное развитие малых городов с учетом их особенностей;
- рассказ и показ всей истории города, достопримечательностей, а не только наиболее популярных мест;
- осмысленность городских праздников;
- органичность местных брендов;

– интересы местного населения должны быть приоритетнее, чем запросы туристов [11].

Таким образом, ответственный туризм может помочь развитию малоперспективной территории с учетом ее экологической, экономической и социальной ситуации и в первую очередь быть ориентированным на запросы местного населения, что и было сделано в городе Кургане.

Город Курган – один из важнейших промышленных центров Уральского федерального округа, крупный транспортный узел округа. Экологическая ситуация в городе является большой проблемой, уровень загрязнения воздуха оценивается как «повышенный», также наблюдается достаточное загрязнение водоемов и проблема с утилизацией бытовых отходов [12]. Вместе с тем в Кургане идет активное озеленение территории города, а также создание парков и скверов.

В 2023 году началась активная работа по благоустройству и экореабилитации лесопарковой зоны в микрорайоне Рябово, работа завершилась в августе 2024 года.

До благоустройства данная территория не пользовалась популярностью у местных жителей, лесопарковую зону в разной степени использовали для утилизации отходов, также в определенный период времени она имела плохую с точки зрения преемственности репутацию.

Лесопарковая территория имеет хорошее местоположение, так как находится в черте города, удалена от крупных промышленных объектов и имеет выход к одной из достопримечательностей города Кургана – Голубым озерам (рисунок 1). На территории зоны произрастает смешанного типа лес: березы и сосны. Отмечу, что данная лесопарковая зона не является особо охраняемой природной территорией.

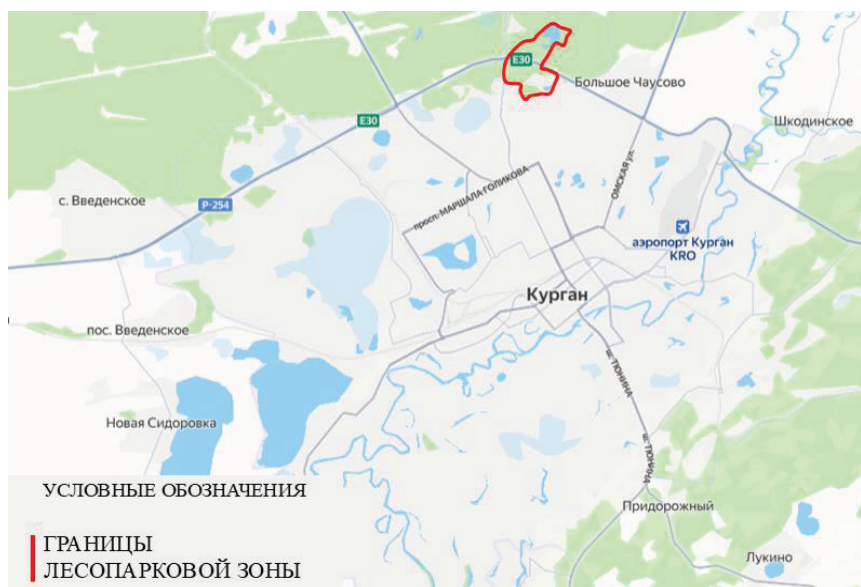


Рисунок 1 – Границы лесопарковой зоны

Таким образом, в Рябововской лесопарковой зоне были выявлены следующие недочеты, требующие решения:

- загрязненность территории;
- отсутствие транспортной доступности;
- отсутствие покрытия дорожек внутри лесопарка;
- отсутствие зон отдыха;
- отсутствие мест для утилизации отходов;
- отсутствие освещения;
- отсутствие отдельных трасс для пешеходных прогулок [13].

Для того чтобы подтвердить, что лесопарковая зона действительно реабилитирована в рамках ответственного туризма, был проведен анализ текущего состояния территории и проанализированы виды ответственности, соответствующие ответственному туризму: экологическая, экономическая и социальная.

Было выявлено, что работа по благоустройству и экореабилитации лесопарковой зоны была произведена по инициативе местных жителей и федеральной программе «Формирование комфортной городской среды». Работы проводились таким образом, чтобы не нарушить природную среду соснового бора, деревья не вырубались, дорожки прокладывались с учетом имеющегося ландшафта. Благоустроенной лесопарковой зоне присвоили название Рябковский экопарк. Площадь экопарка равна 4 гектарам, протяженность всех пешеходных дорожек достигает 7 километров, протяженность велодорожек, лыжных и лыжероллерных трасс равняется 3 и 5 километрам [13]. Карта-схема экопарка представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Карта-схема экопарка

Также было выявлено, что с точки зрения экологической ответственности в экопарке была проведена следующая работа:

- территория лесопарка и прилегающей территории полностью очищена от бытового мусора, и оборудованы места для утилизации отходов;
- произведена лесопосадка сосен на территории парка;
- осуществляется вывоз мусора с территории лесопарка;
- установлен экологичный туалет, работающий по принципу компостирования;
- проводятся субботники и эколого-просветительские мероприятия для школьников;
- установлен режим административной ответственности за выброшенный в неположенном месте мусор [13].

С точки зрения экономической ответственности созданы новые рабочие места: в парке установлена и функционирует точка горячего питания, прокат велосипедов, самокатов и спортивного инвентаря, также производится обслуживание территории парка.

С точки зрения социальной ответственности экопарк стал новой точкой притяжения всех жителей Кургана, проложены новые пешеходные тропы, для детей установлены игровые площадки, сделанные из дерева, спортивные зоны и зоны отдыха, на тропах – фигуры персонажей русского фольклора, запущены новые маршруты общественного транспорта и установлены остановки, подготовлены парковки, также благоустроена пляжная зона на Голубых озерах.

Помимо этого, на территории парка установлено освещение и три входные группы с разных сторон экопарка, оснащенные подробными картами-схемами маршрутов и видеонаблюдением.

Отмечу, что исходя из федерального закона Российской Федерации «Об особо охраняемых природных объектах» экопарком, или экологическим парком, является вид особо охраняемых природных территорий, отвечающий критериям ООПТ: на территории располагаются существующие или вновь воссозданные природные комплексы и объекты, имеющие особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение, для которых необходимо устанавливать режим особой охраны [14].

Так как Рябковский экопарк не является ООПТ, то можно сделать вывод, что название «экопарк» – это своего рода бренд, сопутствующий продвижению данной лесопарковой зоны и города Кургана [15]. В то же время экопарком может быть зеленое открытое пространство, созданное для улучшения культурной среды и обеспечения условий в области сохранения и устойчивого развития территории, экологического воспитания населения [15]. То есть нормативно экопарк должен отвечать требованиям ООПТ, фактически Рябковский экопарк выполняет функцию экологического воспитания населения, а также рекреационную функцию и призывает к ответственному подходу к организации отдыха [15]. Основной целью благоустройства и экореабилитации лесопарка является сохранение и приумножение природного богатства Кургана и Курганской области, создание возможности для его посещения и увеличение его привлекательности [16].

На сегодняшний день ответственный туризм становится наиболее востребованным видом туризма в различных регионах. Он подталкивает путешественников к более осознанной организации своих путешествий, также способствует развитию туристской привлекательности в различных муниципальных образованиях. Город Курган остается территорией, обладающей большим потенциалом для развития различных видов туризма, в том числе и ответственного. Как было выяснено, благоустройство и экореабилитация лесопарковой зоны в районе Рябово были сделаны в концепции ответственного туризма и отвечают трем видам ответственности: экологической, экономической и социальной. Как следствие – новый экопарк стал наиболее популярным местом для отдыха местного населения, а также одной из причин увеличения туристской привлекательности города Кургана.

Список источников

1. Устойчивый туризм // Организация Объединенных Наций. URL: <https://sdgs.un.org/ru/topics/sustainable-tourism> (дата обращения: 16.04.2025).
2. Павленко Е. Л. Ответственный и устойчивый туризм: специфика развития туристского сектора // Материалы X Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». М., 2018. С. 91–94.
3. Плохих Р. В., Байбуриев Р. М., Батбаатр З. Концепция устойчивого развития туризма: его формирование и сущность // Вопросы географии и геоэкологии. 2015. № 1. С. 11–23.
4. Рэнкинг устойчивости развития туризма и индустрии гостеприимства в субъектах Российской Федерации. М., 2023. 29 с.
5. Как путешествовать с заботой о планете // Экотуризм и Zero Waste. URL: <https://noplasticitsfantastic.store/blog/tpost/0ord1heft1-ekoturizm-i-zero-waste-kak-puteshestvova> (дата обращения: 16.04.2025).
6. Путешествуем осознанно: гид по экологичному туризму // Эковики. URL: <https://ecowiki.ru/articles/puteshestvuem-osoznanno-gid-po-ekologichnomu-turizmu/> (дата обращения: 17.04.2025).
7. Щербинина В. Д. Опыт разработки проекта реконструкции экологической тропы в городе Ханты-Мансийске // Перспективы развития студенческого туризма : сборник материалов IX студенческого туристского форума (Елец, 23–25 окт. 2024 г.). Елец : Елецкий гос. ун-т им. И. А. Бунина, 2024. С. 174–179.
8. Что такое ответственный туризм // You travel.me. URL: <https://youtravel.me/blog/layfkhaki-dlya-puteshestviy/chto-takoe-otvetstvennyi-turizm> (дата обращения: 17.04.2025).
9. Прокопец Т. Н., Каморная Д. А. Ответственный туризм как способ решения глобальных проблем человечества // Туризм и гостеприимство. 2022. № 1. С. 44–48.
10. Направления ответственного туризма // Общество миссии ответственного туризма штата. URL: <https://www.keralatourism.org/responsible-tourism/russian/destination> (дата обращения: 18.04.2025).

11. Плесская инициатива: развитие ответственного туризма // Потаенная Россия. URL: https://1888.plios.ru/otv_turism (дата обращения: 21.04.2025).
12. Почему самым грязным городом Урала оказался Курган // Российская газета. URL: <https://rg.ru/2020/11/18/reg-urfo/pochemu-samym-griaznym-gorodom-urala-okazalsia-kurgan.html> (дата обращения: 21.04.2025).
13. В Кургане появилась новая зона отдыха // Российская газета. URL: <https://rg.ru/2024/11/29/reg-urfo/ekopark-v-lesu.html> (дата обращения: 22.04.2025).
14. Об особо охраняемых природных территориях : Федеральный закон Российской Федерации от 14 марта 1995 г. № 33-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 1995. № 12. Ст. 1024.
15. Малыгина М. А., Мингазова Н. М., Шигапов И. С. Особенности применения термина «экопарк» // Материалы VI Всероссийской научной конференции с международным участием «Принципы и способы сохранения биоразнообразия». Казань, 2015. С. 1–5.
16. Зеленый уголок Кургана: экопарк в Рябково // Департамент строительства, госэкспертизы и жилищно-коммунального хозяйства Курганской области. URL <https://gkh.kurganobl.ru/?p=22145> (дата обращения: 24.04.2025).

References

1. Ustoichivyi turizm // Organizatsiia Ob»edinennykh Natsii [Sustainable tourism // United Nations Organization]. Available at: <https://sdgs.un.org/ru/topics/sustainable-tourism> (Accessed 16 April 2025) (in Russian)
2. Pavlenko E. L. Responsible and sustainable tourism: the specifics of the development of the tourism sector // Materialy X Mezhdunarodnoi studencheskoi nauchnoi konferentsii «Studencheskii nauchnyi forum». [Proceedings of the X International Student Scientific Conference «Student Scientific Forum»]. Moscow, 2018. pp. 91-94 (in Russian)
3. Plokhikh R. V., Baiburiev R. M., Batbaatr Z. The concept of sustainable tourism development: its formation and essence // *Voprosy geografii i geoekologii* [Issues of geography and geoecology]. 2015. No. 1. pp. 11-23. (in Russian)
4. *Renking ustoichivosti razvitiia turizma i industrii gostepriimstva v sub»ektakh Rossiiskoi Federatsii* [Ranking the sustainability of tourism and the hospitality industry in the subjects of the Russian Federation]. Moscow, 2023. 29 p. (in Russian)
5. Kak puteshestvovat' s zabotoi o planete // Ekoturizm i Zero Waste [How to travel with care for the planet // Ecotourism and Zero Waste]. Available at: <https://noplasticitsfantastic.store/blog/tpost/0ord1heft1-ekoturizm-i-zero-waste-kak-puteshestvova> (Accessed 16 April 2025) (in Russian)
6. Puteshestvuem osoznanno: gid po ekologichnomu turizmu // Ekoviki [Traveling consciously: a guide to eco-tourism // Ekoviki]. Available at: <https://ecowiki.ru/articles/puteshestvuem-osoznanno-gid-po-ekologichnomu-turizmu/> (Accessed 17 April 2025) (in Russian)
7. Shcherbinina V. D. Experience in developing a project for the reconstruction of an ecological trail in the city of Khanty-Mansiysk // *Perspektivy razvitiia*

studentcheskogo turizma : sbornik materialov IX studentcheskogo turistskogo foruma (Yelets, 23–25 okt. 2024 g.) [Prospects for the development of student tourism : a collection of materials from the IX Student Tourism Forum (Yelets, October 23-25, 2024)]. Yelets : I. A. Bunin Yelets State University, 2024. pp. 174-179. (in Russian)

8. Chto takoe otvetstvennyi turizm // You travel.me. [What is responsible tourism // You travel.me]. Available at: <https://youtravel.me/blog/layfkhaki-dlya-puteshestviy/chto-takoe-otvetstvennyi-turizm> (Accessed 17 April 2025) (in Russian)

9. Prokopets T. N., Kamornaia D. A. Responsible tourism as a way to solve global problems of mankind // *Turizm i gostepriimstvo* [Tourism and hospitality]. 2022, No. 1, pp. 44-48.

10. Napravleniia otvetstvennogo turizma // Obshchestvo missii otvetstvennogo turizma shtata. [Directions of responsible tourism // Society of the mission of responsible tourism of the state]. Available at: <https://www.keralatourism.org/responsible-tourism/russian/destination> (Accessed 18 April 2025) (in Russian)

11. Plesskaia initsiativa: razvitie otvetstvennogo turizma // Potaennaia Rossiia. [Plessky initiative: development of responsible tourism // Hidden Russia]. Available at: https://1888.plios.ru/otv_turizm (Accessed 21 April 2025) (in Russian)

12. Pochemu samym griaznym gorodom Urala okazalsia Kurgan // Rossiiskaia gazeta. [Why Kurgan turned out to be the dirtiest city in the Urals // Rossiyskaya gazeta]. Available at: <https://rg.ru/2020/11/18/reg-urfo/pochemu-samym-griaznym-gorodom-urala-okazalsia-kurgan.html> (Accessed 21 April 2025) (in Russian)

13. V Kurgane poiavilas' novaia zona otdykha // Rossiiskaia gazeta. [A new recreation area has appeared in Kurgan // Rossiyskaya Gazeta]. Available at: <https://rg.ru/2024/11/29/reg-urfo/ekopark-v-lesu.html> (Accessed 21 April 2025) (in Russian)

14. Federal Law of the Russian Federation No. 33-FZ dated March 14, 1995 “On specially protected natural territories”. *Sobranie zakonodatel'stva RF* [Collection of Legislation of the Russian Federation]. 1995, No. 12, Art. 1024. (in Russian)

15. Malygina M. A., Mingazova N. M., Shigapov I. S. Features of the use of the term «ecopark» // Materialy VI Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Printsipy i sposoby sokhraneniia bioraznoobrazii» [Proceedings of the VI All-Russian Scientific Conference with international participation «Principles and methods of biodiversity conservation»]. Kazan, 2015. pp. 1-5. (in Russian)

16. Zelenyi ugolok Kurgana: ekopark v Riabkovo // Departament stroitel'stva, gosekspertizy i zhilishchno-kommunal'nogo khoziaistva Kurganskoi oblasti. [The green corner of Kurgan: Ryabkovo Ecopark // Department of Construction, State Expertise and Housing and Communal Services of the Kurgan region]. Available at: <https://gkh.kurganobl.ru/?p=22145> (Accessed 24 April 2025) (in Russian)

ВЕРИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИСОЕДИНЕНИЯ С ОДНОФАЗНЫМ ЗАМЫКАНИЕМ НА ЗЕМЛЮ ПО ЭНЕРГИИ СПЕКТРА ВЫСШИХ ГАРМОНИК В РАЗНОРОДНЫХ СЕТЯХ 6 (10) КВ

VERIFICATION OF THE METHOD OF SINGLE-PHASE TO GROUND FAULT DETECTION BY SPECTRUM ENERGY IN DIFFERENT 6 (10) KV NETWORKS

Антипова Мария Анатольевна

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: mari.ru2000@mail.ru

Батманова Любовь Николаевна

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: batmanovalove@mail.ru

Научный руководитель: канд. техн. наук, старший преподаватель

Парамзин Александр Олегович

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Maria A. Antipova

13.03.02 Electric power and electrical engineering

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: mari.ru2000@mail.ru

Lyubov N. Batmanova

13.03.02 Electric power and electrical engineering

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: batmanovalove@mail.ru

Scientific supervisor: PhD in Engineering, Senior lecturer

Alexander O. Paramzin

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. Однофазные замыкания на землю составляют большую часть ненормального режима работы сетей 6 (10) кВ, которые могут приводить к более тяжелым последствиям и авариям. Защиты, реагирующие на параметры высших гармоник в токах нулевой последовательности, находят широкое применение в электрических сетях 6 (10) кВ. В рамках данной работы выполняется проверка работоспособности подхода к идентификации поврежденного присоединения, основанного на сравнении значений энергий спектра отходящих линий в разнородной электрической сети. Для проверки разработана модель сети в MATLAB Simulink, которая содержит две короткие и две длинные линии с постоянной

нагрузкой. По результатам численных экспериментов установлено, что метод работоспособен при любой точке ОЗЗ в сети с линиями, длины которых отличаются на несколько порядков.

Ключевые слова: однофазное замыкание на землю (ОЗЗ), разнородная сеть, вейвлет-преобразование, высшие гармоники, ток нулевой последовательности, энергия спектра.

Annotation. Single-phase earth faults are the most common type of faults in 6 (10) kV networks. They can lead to more severe accidents and short circuits. Protections reacting to the parameters of higher harmonics in zero-sequence currents are widely used in branched networks with lines of various lengths. In the framework of this work we verify the performance of the approach to the identification of the damaged connection based on the comparison of the values of the spectrum energies of the outgoing lines in a heterogeneous electrical network. For verification, a network model is developed in MATLAB Simulink. The model contains two short and two long lines with constant load. According to the results of numerical experiments, it was found that the method works at any point of fault in a network with lines whose lengths differ by several orders of magnitude.

Keywords: single-phase to ground fault, mixed network, wavelet transform, higher harmonics, zero-sequence current, spectrum energy.

Однофазное замыкание на землю (ОЗЗ) – это повреждение на линиях электропередачи, при котором одна фаза замыкается на заземляющий проводник (рисунок 1) или землю непосредственно или через переходное сопротивление. Здесь U_a, U_b, U_c – фазные напряжения; I_a, I_b, I_c – соответствующие им токи; C_a, C_b, C_c – ёмкости фаз.

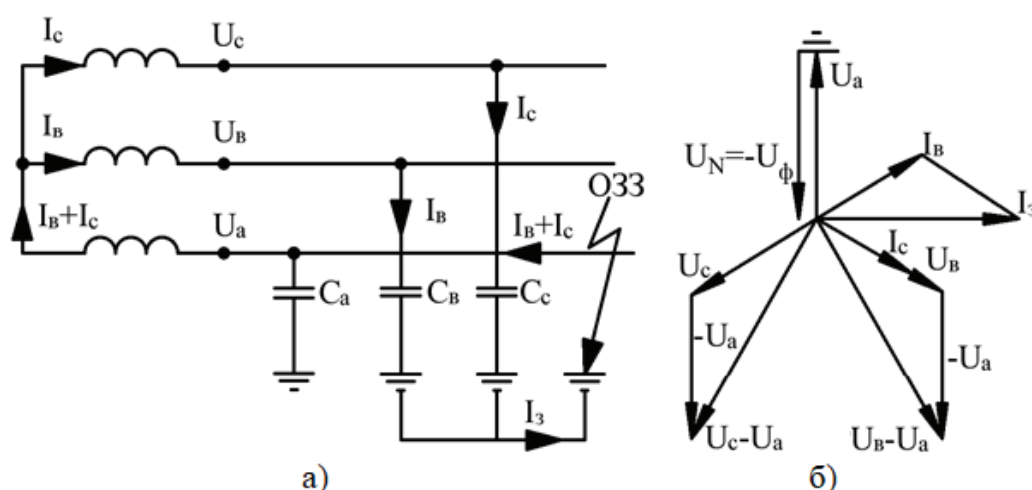


Рисунок 1 – а) схема замещения ОЗЗ; б) векторная диаграмма ОЗЗ

ОЗЗ составляют около 80 % всех случаев повреждений, происходящих в распределительных сетях 6 (10) кВ. Эти события не являются аварией, однако приводят к снижению надёжности энергоснабжения и требуют оперативного

выявления места повреждения. Проблема становится особенно актуальной в современных городских системах, где используются длинные кабельные линии и многочисленные распределительные устройства. Стоит также отметить наличие на территории РФ таких регионов, как ХМАО-Югра, для которых характерна большая протяженность сетей 6 (10) кВ с большим количеством ответвлений, значительно усложняющих поиск повреждения.

Основным параметром сети, участвующим в формировании тока нулевой последовательности, является емкостная проводимость (1), значение которой определяется конструкцией линии электропередачи (число проводов, их расположение и изоляция):

$$b_0 = \omega C_0, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота (при $f=50$ Гц, $\omega \approx 314$ рад/с); C_0 – удельная ёмкость нулевой последовательности на землю (Ф/км).

Если линия имеет длину L (км), её полную ёмкостную проводимость можно определить по выражению (2):

$$B_0 = b_0 \cdot L = \omega C_0 \cdot L. \quad (2)$$

Тогда ёмкостный ток нулевой последовательности (I_0) для этой линии при нормальном линейном напряжении ($U_{л}$, кВ):

$$I_0 = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}} \cdot B_0 = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}} \cdot \omega C_0 \cdot L. \quad (3)$$

При замыкании на одной из линий суммарный ток при ОЗЗ (I_3) равен сумме ёмкостных токов всех неповрежденных линий:

$$I_3 = 3 \cdot \sum I_{0, \text{неповр.}} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi} \cdot \omega \cdot \sum (C_{0,i} \cdot L_i), \quad (4)$$

где $C_{0,i}$ – ёмкость нулевой последовательности для каждой неповреждённой линии; L_i – длина линии.

Существующие подходы к обнаружению ОЗЗ включают методы направленной защиты, способы временной блокировки защит, частотные методы и пассивные системы сигнализации. Однако каждый из методов не обеспечивает достаточной чувствительности и устойчивости к помехам в разветвленных сетях с большим количеством разнородных линий [1].

Одним из перспективных типов защит от ОЗЗ являются устройства, реагирующие на параметры высших гармоник, возникающих в электрической цепи при ОЗЗ из-за нелинейных эффектов [2]. Высшие гармоники несут важную информацию о параметрах замыкания, и анализ их спектра позволяет более эффективно выявлять место повреждения [3].

В отличие от коротких сетей (длиной до нескольких километров), где проверенные временем методы обнаружения ОЗЗ показывают хорошую эффективность, для кабельных сетей с большим количеством ответвлений данные методы теряют свою эффективность [4]. Например, в работе [5] данный факт связывают со значительным снижением величины гармонического компонента и высоких потерь мощности и неоднородности сигналов.

Здесь важно отметить, что эффективность методов определения поврежденной линии при ОЗЗ в сетях с разной длиной линий критически зависит от величины емкостного тока, который в свою очередь определяется их протяженностью. Ранее упоминалась зависимость емкостного тока сети от длины линии. Проиллюстрируем это на примере расчета емкостных токов для линий длиной 10 м (5) и 20 км (6), предполагая, что для ВЛ 6 (10) кВ типичная емкость $C_0 = 5 \cdot 10^{-9}$ Ф/км; $U_{\text{л}} = 10$ кВ; $f = 50$ Гц

$$I_{0,10\text{м}} = \frac{10}{\sqrt{3}} \cdot 314 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 0,01 \approx 0,0009 \text{ А} \approx 0 \quad (5)$$

$$I_{0,20\text{км}} = \frac{10}{\sqrt{3}} \cdot 314 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 20 \approx 1,8 \text{ А} . \quad (6)$$

Если повреждена одна из коротких линий (10 м), её собственный ток ничтожен, а ток ОЗЗ создаётся двумя длинными линиями:

$$I_3 = 2 \cdot I_{0,10\text{м}} \approx 3,6 \text{ А} . \quad (7)$$

Но если повреждена длинная линия (20 км), ток ОЗЗ будет:

$$I_3 = I_{0,20\text{км}} + 2 \cdot I_{0,10\text{м}} \approx 1,8 \text{ А} . \quad (8)$$

Таким образом, по причине ничтожно малой емкости коротких линий в сравнении с длинными при ОЗЗ их ток может быть меньше, чем емкостный ток длинных линий.

В свою очередь наличие ЛЭП большой протяженности может маскировать ток повреждения короткой линии.

Авторы статьи [6] акцентируют внимание на том, что нет универсального решения, и методы, которые эффективны для длинных линий (с большим ёмкостным током), могут оказаться малоэффективными для коротких, и наоборот.

В работе [7] в качестве маскирующего фактора показано переходное сопротивление в месте ОЗЗ, которое снижает разницу между поврежденной, неповрежденной линиями, что в совокупности с разной протяженностью ЛЭП серьезно затрудняет обнаружение и локализацию ненормального режима работы.

Вышесказанное обуславливает актуальность совершенствования и проверки эффективности существующих алгоритмов идентификации ОЗЗ в сложных условиях с целью совершенствования алгоритмов «земляных защит».

Один из нестандартных подходов к идентификации ОЗЗ за счет реакции на высшие гармонические составляющие в токах нулевой последовательности показан в работе [5]. Суть данного метода заключается в декомпозиции сигналов $3i_0$ математическим аппаратом вейвлет-преобразования. Эффективность данного решения была проверена авторами [9].

Аппарат вейвлет-преобразования позволяет определять локальную энергию спектра в пределах частотного диапазона, ограниченного коэффициентами в узлах пакетного вейвлет-преобразования (9). Таким образом, удастся рассматривать не отдельные гармонические составляющие, а анализировать диапазоны в соответствии с рассматриваемыми узлами дерева пакетного вейвлет-преобразования и вычислять энергию спектра согласно [5]

$$E_{3i_0}(j, m) = \sum_{2^{-j}nm}^{2^{-j}n(m+1)-1} i_{j,m}^2(k), \quad (9)$$

где k – коэффициент пакетного вейвлет-преобразования.

Вейвлеты позволяют выявлять кратковременные изменения характеристик сигнала, характерные для момента начала замыкания. Сочетание этой информации с данными об энергии высших гармоник обеспечивает высокую вероятность правильной идентификации и быстрого устранения аварийной ситуации [8].

Анализ недостатков ранее существующих методов показывает, что они имели ограниченную применимость в разнородных сетях, где различные условия распространения сигналов затрудняли точное определение ненормального режима работы.

Несмотря на то, что авторы [5] заявляют, что алгоритм учитывает неоднородность структуры сети, включая различия в длине линий электропередачи, данный факт требует верификации.

Целью настоящей работы является проверка эффективности подхода к идентификации поврежденного присоединения, основанного на сравнении значений энергий спектра отходящих линий в разнородной электрической сети.

Для достижения поставленной цели решена задача моделирования сети с изолированной нейтралью в условиях крайне неравномерного распределения емкостных токов.

Методы

Модель сети состоит из трансформатора ТДН – 10000/110/10, параметры схемы замещения которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры схемы замещения трансформатора ТДН – 10000/110/10

R_1	R_2	L_1	L_2	R_m	X_m
3,509	0,087	0,202	0,005	$1,21 \cdot 10^6$	430,620

Составлено авторами.

Линии электропередачи (2х0,01 км и 2х20 км) на железобетонных опорах, выполненные неизолированным сталеалюминиевым проводом АС-25/4,2 (рисунок 2), представлены П-образной схемой замещения, параметры которой рассчитаны методом зеркальных отображений, используя Line Parameter Calculator.

Нагрузка линии 1 задана источниками тока с действующими значениями 10 А для основной частоты, а также 3,33 А, 2 А и 1,43 А для 3, 5 и 7 гармоник соответственно:

- Нагрузка линии 2 выполнена трехфазным шестипульсным выпрямителем. Действующее значение потребляемого тока соответствует 5 А.

- Нагрузка линии 3 носит чисто активный характер, а значение потребляемого тока составляет 8 А.

- Нагрузка линии 4 выполнена аналогично нагрузке линии 2.

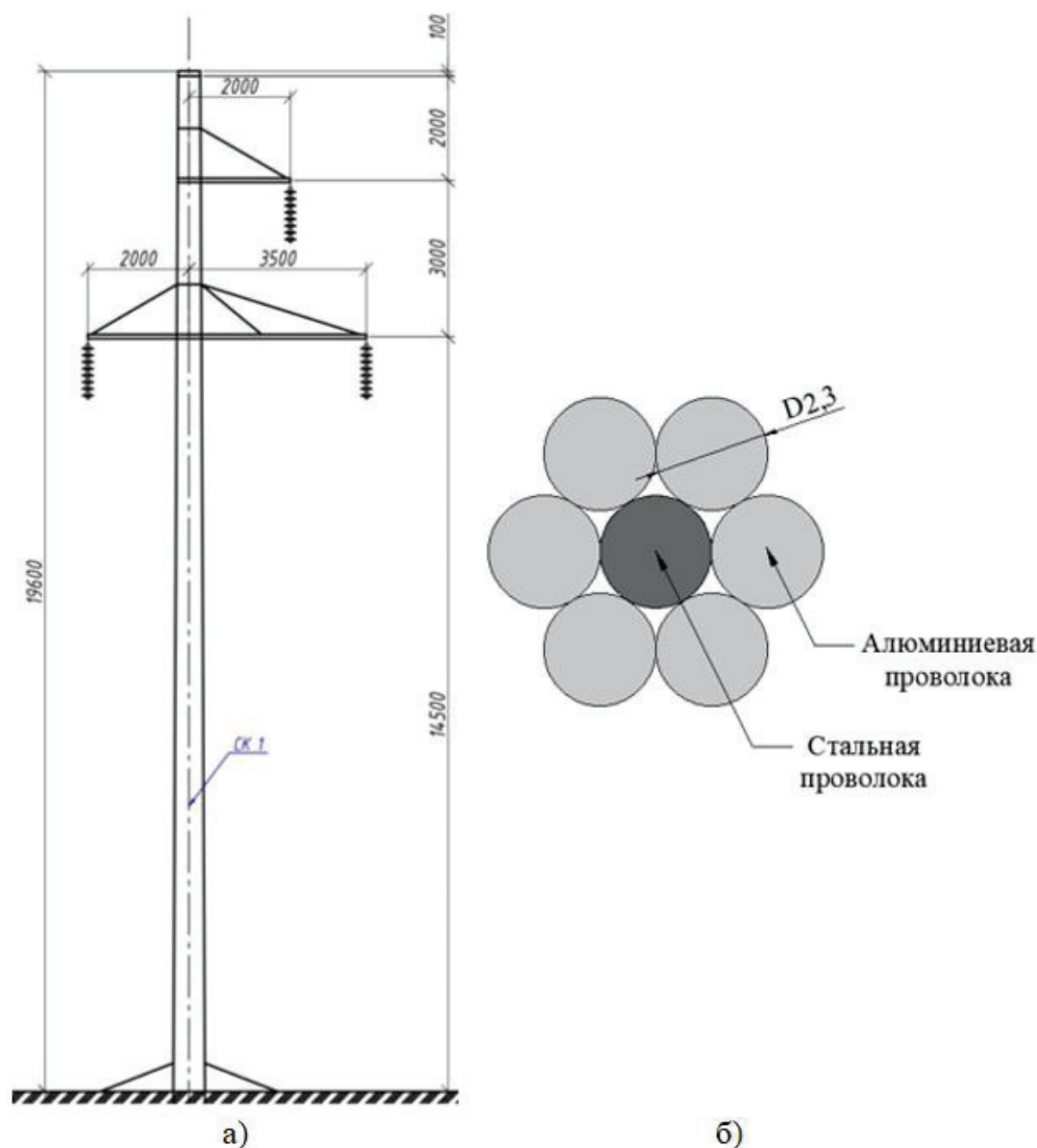


Рисунок 2 – а) железобетонная опора; б) сечение провода АС-25/4,2 (составлено авторами)

В ходе численных экспериментов ОЗЗ выполняется поочередно в конце каждой линии, а токовые сигналы $3i_0$ (сумма фазных токов) с каждой линии отправляются на вычислительный блок вейвлет-преобразования (wavelet toolbox) с вычислением энергии спектра. Параметры нагрузки и схемы замещения ЛЭП для всех случаев неизменны.

Результаты

Результаты вычисления энергии спектра высших гармоник в токах нулевой последовательности отходящих присоединений показаны в таблице 2. В рамках каждого эксперимента значение энергии спектра является наибольшим у линии с ОЗЗ.

Отношение наибольшего и наименьшего значений энергии спектра для ОЗЗ в линии № 1 составило: $E_1/E_3 = 1,27 \cdot 10^{22}$, для ОЗЗ в линии № 2: $E_2/E_3 = 1,09 \cdot 10^{25}$, для ОЗЗ в линии № 3: $E_3/E_2 = 6,01 \cdot 10^{20}$ и для ОЗЗ в линии № 4: $E_4/E_3 = 7,11 \cdot 10^{25}$.

Таблица 2 – Значение энергии спектра E_t высших гармоник в токах $3i_0$

Показатели	№ линии (длина)	Линия 1 (20 км)	Линия 2 (20 км)	Линия 3 (0,01 км)	Линия 4 (0,01 км)
ОЗЗ в линии № 1	Энергия спектра	97,42	$8,18 \cdot 10^{-17}$	$7,70 \cdot 10^{-21}$	$2,89 \cdot 10^{-16}$
ОЗЗ в линии № 2	Энергия спектра	$1,53 \cdot 10^5$	$1,62 \cdot 10^5$	$1,48 \cdot 10^{-20}$	$2,41 \cdot 10^{-16}$
ОЗЗ в линии № 3	Энергия спектра	$1,54 \cdot 10^5$	$2,58 \cdot 10^{-16}$	$1,55 \cdot 10^5$	$4,06 \cdot 10^{-16}$
ОЗЗ в линии № 4	Энергия спектра	$1,54 \cdot 10^5$	$6,07 \cdot 10^{-16}$	$2,18 \cdot 10^{-21}$	$1,55 \cdot 10^5$

Составлено авторами.

Обсуждение

Результаты экспериментов демонстрируют эффективность алгоритма идентификации поврежденного присоединения на основе энергии спектра токов нулевой последовательности в условиях крайне разнородной сети, длины ЛЭП в которой отличаются на несколько порядков. Поврежденному присоединению в рамках одного эксперимента соответствует наибольшее относительно других присоединений значение энергии спектра.

Необходимо также отметить, что для случая с ОЗЗ в короткой линии с активной нагрузкой значения энергии спектра поврежденного (линия 4) и неповрежденного (линия 1) присоединения очень близки $1,54 \cdot 10^5$ и $1,55 \cdot 10^5$, что может свидетельствовать о возможно ложном срабатывании в случаях, когда в измерительных трансформаторах имеет место неоднородность характеристик в рамках одной партии оборудования.

Серия численных экспериментов доказала эффективность ранее разработанного алгоритма идентификации поврежденного присоединения на основе энергии спектра высших гармоник в токах нулевой последовательности в условиях разнородных линий.

Точность алгоритма при неповрежденных длинных линиях снижается прежде всего из-за влияния распределенных параметров линии, таких как индуктивность, емкость и сопротивление. Эти параметры могут вызывать фазовые сдвиги высших гармонических составляющих по мере удаления от места замыкания, что искажает измеренные энергетические характеристики гармоник в токах нулевой последовательности.

Результаты работы могут быть использованы при усовершенствовании алгоритмов работы защит от однофазных замыканий на землю, в т. ч. задаче снижения ложных срабатываний за счет исключения зависимости от абсолютных значений токов нулевой последовательности.

Список источников

1. Сушков В. В., Сидоров И. К., Сухачев И. С. Разработка комплексного подхода к диагностированию места повреждения воздушной линии электропередачи при однофазных замыканиях на землю на основе алгоритма обработки дан-

ных цифровых подстанций // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 7. С. 67–74.

2. Андреев А. А. Анализ существующих разновидностей защит от однофазных замыканий на землю и условия их применения // Вестник кибернетики. 2021. № 4. С. 3–11.

3. Шуин В. А. [и др.]. Влияние высших гармоник на переходные процессы при дуговых замыканиях на землю в кабельных сетях 6–10 кВ с изолированной нейтралью // Вестник ИГЭУ. № 2. 2020. С. 31–35.

4. Шалин А. И. Замыкания на землю в сетях 6–35 кВ. Направленные защиты. Особенности применения // Новости электротехники. 2009. № 1. С. 2–4.

5. Парамзин А. О. Модернизация метода относительного замера высших гармоник для определения присоединения с однофазным замыканием на землю в сетях 6 (10) кВ : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ханты-Мансийск, 2024. 20 с.

6. Шуин В. А. [и др.]. Особенности использования электрических величин переходного процесса в защитах от замыканий на землю электрических сетей 6–10 кВ // Вестник ИГЭУ. 2011. С. 2–11.

7. Владимиров Л. В., Иванов Г. В., Кислицин Е. Ю. Влияние переходного сопротивления при однофазном замыкании на землю в сети с резистивным заземлением нейтрали // Вестник кибернетики. 2022. № 1. С. 17–21.

8. Парамзин А. О., Долингер С. Ю. Применение вейвлет-преобразования в задачах поиска поврежденного присоединения с однофазным замыканием на землю по данным SV-потока // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2024. № 4. С. 17–27.

9. Парамзин А. О., Долингер С. Ю., Осипов Д. С. Анализ работоспособности алгоритма поиска повреждённого присоединения с однофазным замыканием на землю при помощи комплекса полунатурного моделирования «РИТМ» // Электрические станции. 2024. № 12. С. 26–31.

References

1. Sushkov V. V., Sidorov I. K., Sukhachev I. S. Development of an integrated approach to diagnosing damage to an overhead power line in single-phase earth faults based on a digital substation data processing algorithm // *Elektroenergiia. Peredacha i raspredelenie* [Electricity. Transmission and distribution]. 2018, No. 7, pp. 67-74. (in Russian)

2. Andreev A. A. Analysis of existing types of protection against single-phase earth faults and conditions of their application // *Vestnik kibernetiki* [Bulletin of Cybernetics]. 2021, No. 4, pp. 3-11. (in Russian)

3. Shuin V. A. [et al.]. Influence of higher harmonics on transient processes during arc faults to earth in 6-10 kV cable networks with an isolated neutral // *Vestnik IGEU* [IGEUE Bulletin]. No. 2. 2020. pp. 31-35. (in Russian)

4. Shalin A. I. Ground faults in 6-35 kV networks. Targeted protection. Application features // *Novosti elektrotekhniki*. [Electrical Engineering news]. 2009. No. 1. pp. 2-4. (in Russian)

5. Paramzin A. O. Modernization of the method of relative measurement of higher harmonics for determining single-phase earth fault connections in 6 (10) kV networks. Abstract of the dissertation. *Candidate's thesis*. Khanty-Mansiysk, 2024, 20 p. (in Russian)

6. Shuin V. A. [et al.]. Features of the use of electrical quantities of the transient process in earth fault protection of electrical networks of 6-10 kV. *Vestnik IGEU*. [IGEU Bulletin]. 2011. pp. 2-11. (in Russian)

7. Vladimirov L. V., Ivanov G. V., Kislitsin E. Iu. The influence of transient resistance during a single-phase earth fault in a network with resistive grounding of the neutral conductor // *Vestnik kibernetiki*. [Bulletin of Cybernetics]. 2022, No. 1, pp. 17-21. (in Russian)

8. Paramzin A. O., Dolinger S. Iu. Application of the wavelet transform in problems of searching for a damaged connection with a single-phase earth fault according to SV-stream data. // *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta*. [Bulletin of the North Caucasus Federal University]. 2024, No. 4, pp. 17-27. (in Russian)

9. Paramzin A. O., Dolinger S. Iu. Analysis of the operability of the algorithm for searching for a damaged connection with a single-phase earth fault using a complex of semi-natural modeling «RHYTHM». // *Elektricheskie stantsii*. 2024. No. 12. pp. 26-31.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ
НА ЗЕМЛЮ В MATLAB SIMULINK С ГЕНЕРАЦИЕЙ SV-ПОТОКА
ПО МЭК 61850 НА КОМПЛЕКСЕ «РИТМ»**

**MODELING OF SINGLE-PHASE GROUND FAULT
IN MATLAB SIMULINK WITH SV STREAM GENERATION ACCORDING
TO IEC 61850 ON «RITM» PLATFORM**

Горбатюк Дарья Юрьевна

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: darya.gorbatyuk.94@mail.ru

Солодянкин Матвей Сергеевич

лаборант

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: m_solodyankin@ugrasu.ru

Научный руководитель: канд. техн. наук, старший преподаватель

Парамзин Александр Олегович

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Darya Y. Gorbatyuk

13.03.02 Electric power and electrical engineering

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: darya.gorbatyuk.94@mail.ru

Matvey S. Solodyankin

Laboratory Assistant

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: m_solodyankin@ugrasu.ru

Scientific supervisor: PhD in Engineering, Senior lecturer

Alexander O. Paramzin

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. В работе рассматриваются такие понятия, как однофазное замыкание на землю, SV-поток, а также обзревается использование программы для преобразования и получения сигналов с модели. Цель работы состоит в демонстрации возможности моделирования и генерации SV-потока по МЭК 61850 для тестирования и отладки защит от однофазных замыканий на землю. По результатам полунатурного моделирования сети 6 (10) кВ на КПМ «РИТМ» был сгенерирован и передан на шину процесса SV-поток с данными о токах нулевой последовательности отходящих линий. SV-поток успешно распознан сетевым сниффером Wireshark и интерпретирован в осциллограммы при помощи программного

обеспечения «Сетевой анализатор» от научно-производственного предприятия «Динамика». Интерпретированные данные соответствуют результатам моделирования с временем задержки < 2 мс для 80 выборок/период.

Ключевые слова: МЭК 61850, SV-поток, однофазные замыкания на землю, полунатурное моделирование.

Annotation. This study examines key concepts including single-phase-to-ground faults and Sampled Values (SV) streams, while exploring the use of specialized software for signal conversion and acquisition from simulation models. The primary objective is to demonstrate the feasibility of modeling and generating IEC 61850-compliant SV streams for testing and debugging earth fault protection systems. Through hardware-in-the-loop (HIL) simulation of a 6(10) kV network on the «RITM» test platform, we successfully generated and transmitted process bus SV streams containing zero-sequence current data from feeder lines. The SV stream was accurately captured by Wireshark network analyzer and converted to oscillograms using «Network Analyzer» software developed by NPP «Dynamika». The interpreted data showed full consistency with simulation results, exhibiting a transmission delay of < 2 ms for 80 samples/cycle.
Keywords: IEC 61850, Sampled Values (SV), single-phase earth faults, hardware-in-the-loop simulation.

Распределительные электрические сети РФ являются ключевой частью национальной энергетической системы, доставляя электроэнергию от высоковольтных линий и подстанций к жилым домам, предприятиям и другим объектам.

Одним из распространенных видов повреждений в таких сетях являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ). Поиск зон ОЗЗ является одной из актуальных проблем в распределительных сетях Российской Федерации [1]. ОЗЗ возникают в результате повреждений изоляции, механических повреждений кабелей или оборудования, а также вследствие природных факторов, таких как влажность, коррозия или механические воздействия. В результате таких повреждений в сети появляется участок с низким сопротивлением между фазой и землей, что создает опасную ситуацию для эксплуатации электросетей и безопасности персонала.

При наличии ОЗЗ в сети с изолированной и компенсированной нейтралью оно не отключается средствами релейной защиты [2], которые, как правило, действуют «на сигнал».

Очень важно своевременно выявить наличие ОЗЗ и устранить его как можно быстрее, т. к. непрерывное существование опасной зоны негативно сказывается на качестве электрической энергии: увеличиваются потери, возникают колебания напряжения, снижается стабильность работы оборудования, кроме того, наличие ОЗЗ увеличивает риск возникновения более серьезных аварийных ситуаций – например, коротких замыканий [3].

Для поиска и устранения ОЗЗ применяются различные методы диагностики – от традиционных методов поиска с помощью измерительных приборов до современных автоматизированных систем мониторинга состояния сети [4].

Необходимо отметить, что в последние годы технологии высокоавтоматизированных подстанций (ВАПС) открывают новые возможности для совершенствования методов обнаружения однофазных замыканий на землю, обеспечивая более точную диагностику, оперативное управление сетью и адаптивную компенсацию емкостных токов [5].

В основе функционирования ВАПС лежит международный стандарт IEC 61850. Благодаря использованию этого стандарта оборудование различных производителей может беспрепятственно взаимодействовать друг с другом, обеспечивая эффективную интеграцию систем автоматизации и диспетчеризации с измеренными электрическими параметрами.

Согласно [6], архитектуры высокоавтоматизированных подстанций подразделяют на три уровня по степени внедрения цифровых технологий передачи данных (рисунок 1).

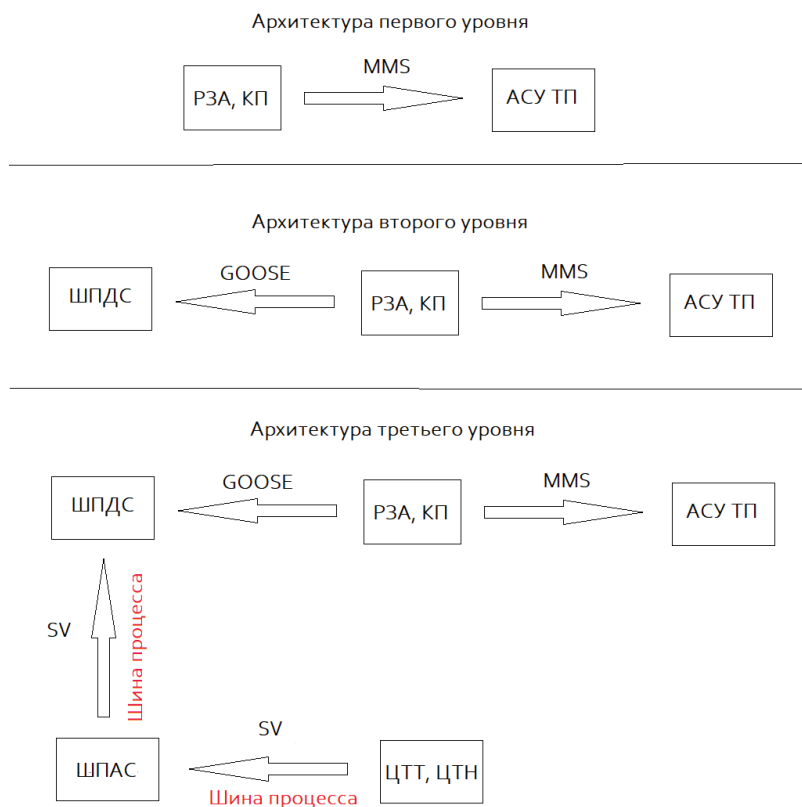


Рисунок 1 – Архитектуры ВАПС (составлено автором)

В настоящее время в России цифровые подстанции архитектуры третьего уровня (с поддержкой SV-потока) напряжением 6 (10) кВ не получили широкого распространения, однако активно ведутся разработки и внедрение защит от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) [7], требующих тщательного тестирования перед вводом в эксплуатацию [8]. Например, РЕТОМ 61850 от НПП «Динамика» позволяет оценить работоспособность защит при стационарных режимах с определенным набором гармонических составляющих, однако не способен отразить переходные процессы и несинусоидальные процессы, характерные для ОЗЗ, которые к тому же зачастую имеют перемежающийся характер.

Нельзя не сказать о моделировании и тестировании аппаратуры в контуре реального времени при помощи таких комплексов, как «RTDS» и «РИТМ» [9].

«РИТМ» предоставляет возможность тестировать защиты в переходных режимах на основе результатов моделирования, что значительно повышает точность и надежность оценки их работоспособности в реальных условиях эксплуатации. Для ускоренного тестирования цифровых защит от ОЗЗ в рамках данной работы предлагается разработать сквозную модель распределительной сети 6 (10) кВ в MATLAB Simulink с возможностью формирования SV-потока по МЭК 61850 в режиме реального времени.

Модель сети (рисунок 2) представлена системой 110 кВ с трансформатором ТДН – 10000/110/10, от секции шин которого отходит 4 ЛЭП. Параметры трансформатора рассчитаны по его паспортным данным в соответствии с методикой, изложенной в [10].

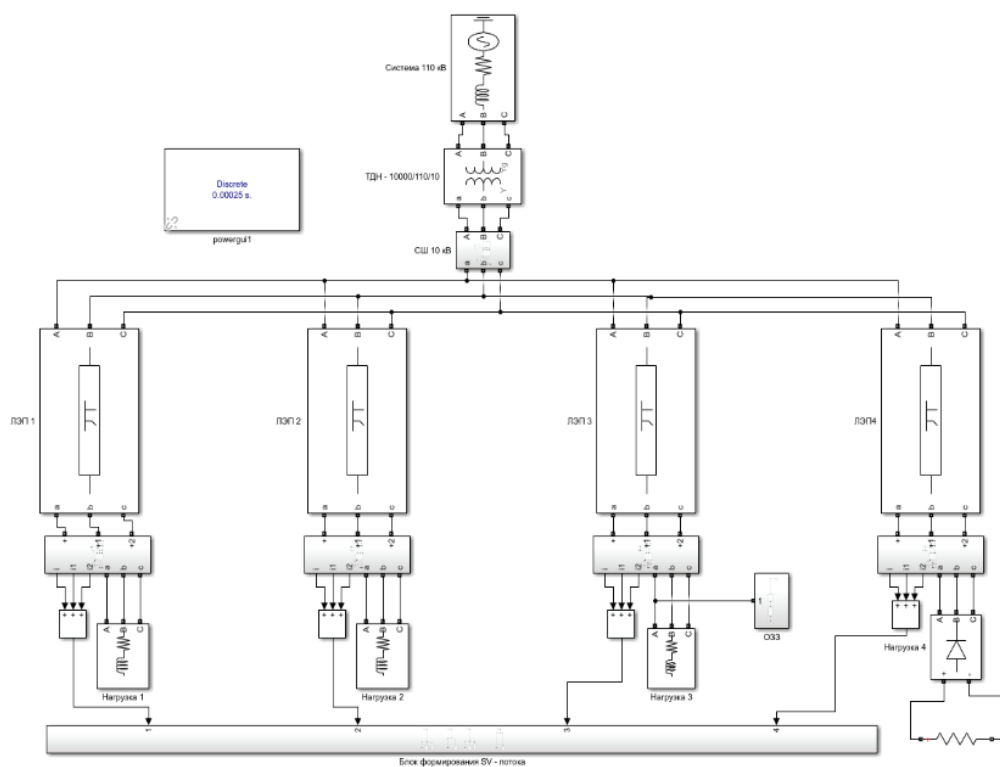


Рисунок 2 – Модель сети (составлено автором)

Параметры ЛЭП рассчитаны с использованием Power Line Parameter Calculator для опоры ПБ 110/1 и провода АС 25/4,2 длиной 100 км и 41,1 км.

Металлическое ОЗЗ фазы А линии 3 реализовано на 5 секунде при помощи блока Three-Phase Fault. Осциллограммы фазных и линейных напряжений на СШ трансформатора, представленные на рисунках 3 и 4, подтверждают факт наличия ОЗЗ в сети.

Генерация SV-потока выполнена по результатам вычисления $3i_0$ как векторной суммы токов в анализируемых присоединениях. Сигнал с «сумматора» при помощи блоков «GoTo» и «From» отправляется на вход блока «Передатчик SV IEC 61850» (рисунок 5) библиотеки RITM IEC 61850.

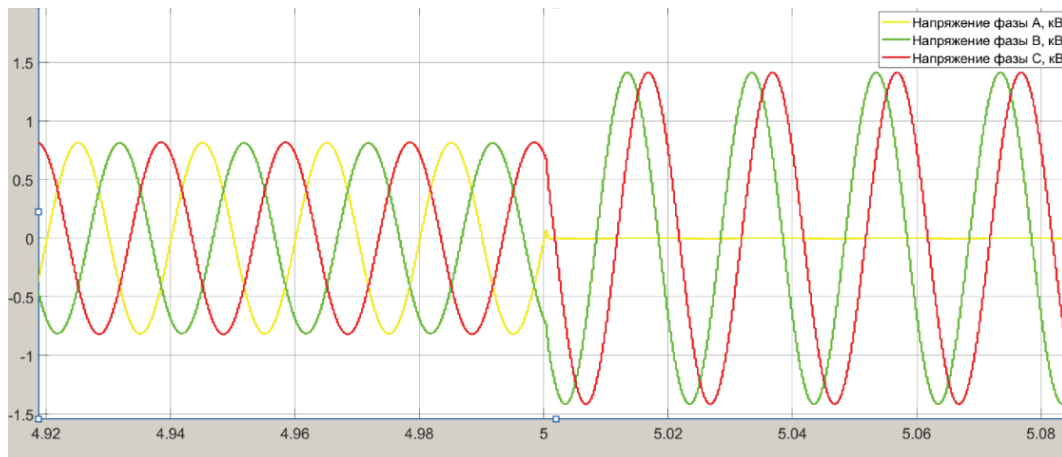


Рисунок 3 – Осциллограмма фазных напряжений (составлено автором)

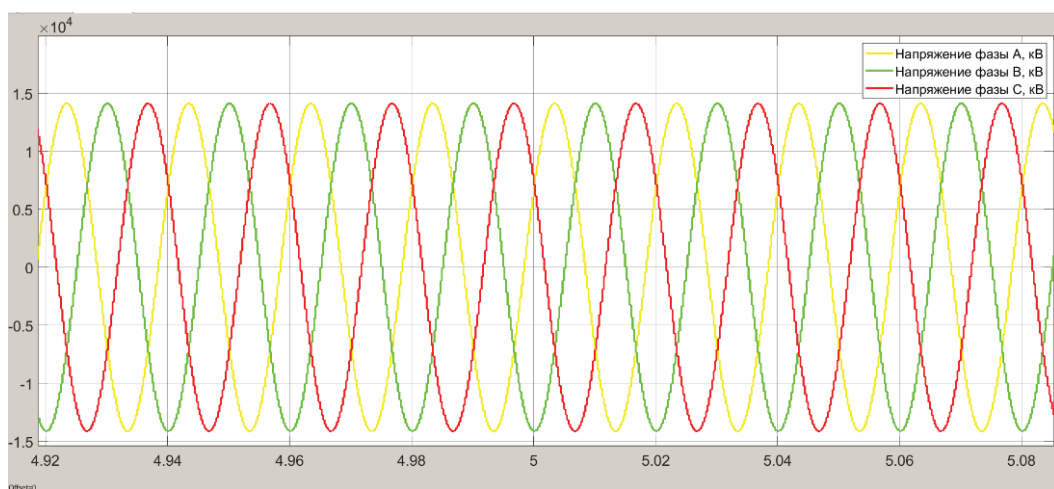


Рисунок 4 – Осциллограмма линейных напряжений (составлено автором)

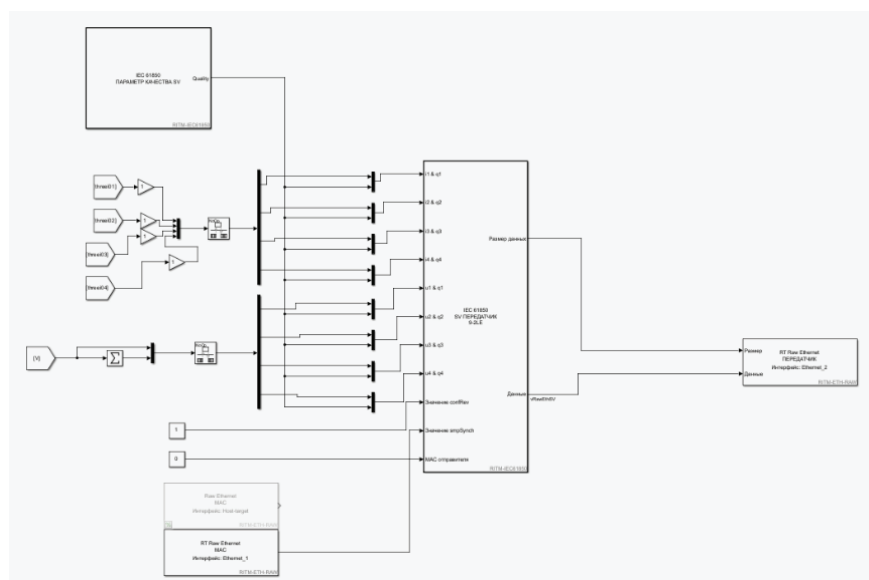
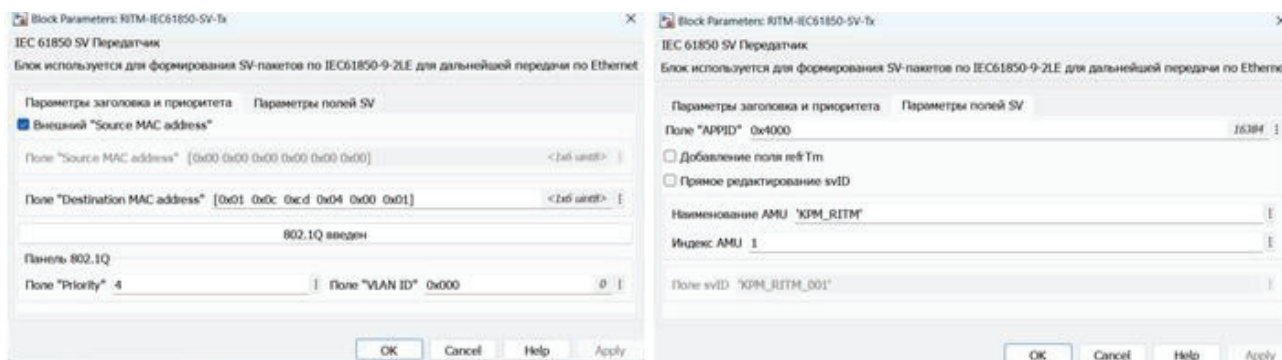


Рисунок 5 – Система блоков передачи SV-потребов (составлено автором)

Успешное функционирование передатчика обеспечивается исключительно после настройки блока «RITM-IEC61850-SV-Tx». Конфигурация настроенных блоков показана на рисунке 6:



а)

б)

Рисунок 6 – Конфигурация блока RITM-IEC61850-SV-Tx а) настройки параметров заголовка и приоритета; б) настройки параметров полей (составлено автором)

Захват SV-потока в рамках данной работы выполнялся сторонним ПК с установленными ПО «Сетевой анализатор» от НПП «Динамика» и сетевым sniffером «Wireshark». Описание и атрибуты полученного пакета показаны на рисунке 7:

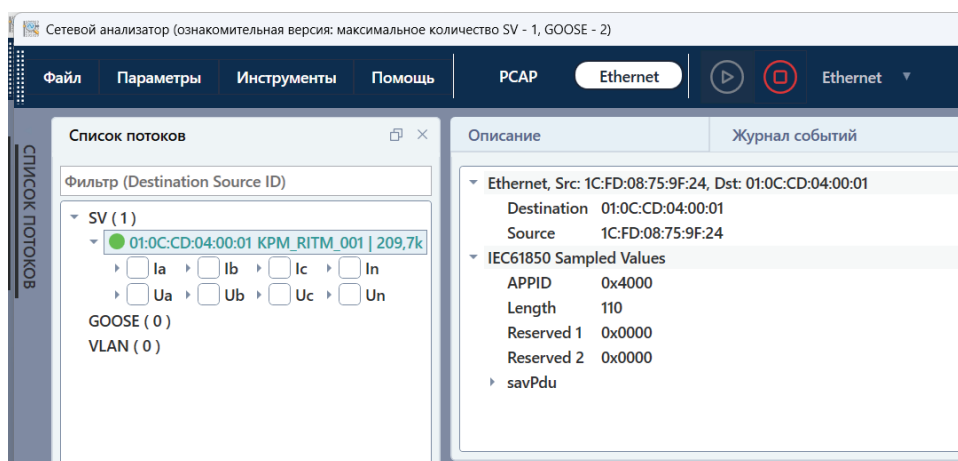


Рисунок 7 – Описание и атрибуты полученного пакета (составлено автором)

Интерпретация и построение графика по данным полученного SV-потока представлены на рисунке 8, моменту ОЗЗ соответствует смещенное на 2 мс по оси времени значение по сравнению с генерируемым сигналом.

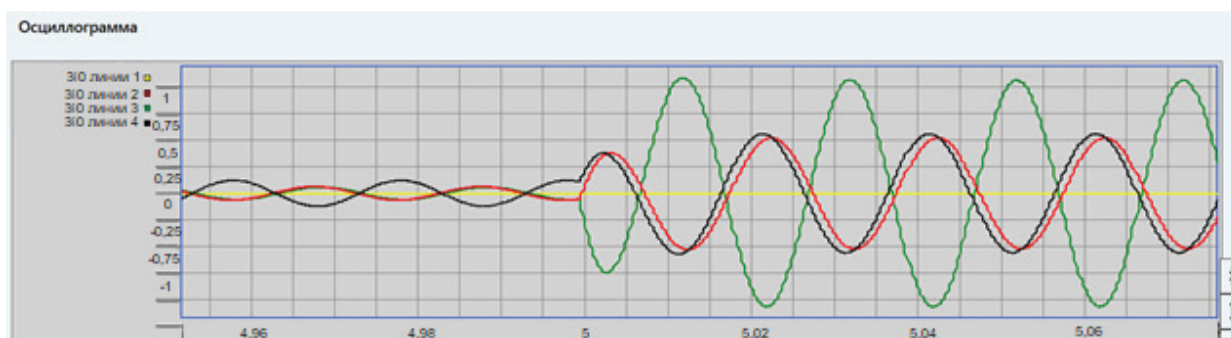


Рисунок 8 – Осциллограмма токов $3i_0$ отходящих присоединений из SV-потока (составлено автором)

Ток $3i_0$ поврежденного присоединения находится в противофазе с токами нулевой последовательности неповрежденных линий и является подтверждением факта ОЗЗ в данном присоединении.

Полученный в результате моделирования SV-поток подтверждает возможность использования КПМ «РИТМ» как средства адаптивного тестирования защит от ОЗЗ с гибкими сценариями. Благодаря ему перед исследователями открывается возможность не просто имитировать повреждение линии на любом участке моделируемой электрической сети, но и учитывать данные нестационарных, а также несинусоидальных процессов в момент ОЗЗ.

Результаты работы также показывают, что сквозная модель, функционирующая на КПМ «РИТМ», является совместимой с любыми устройствами по МЭК 61850, а результаты расчетов могут быть безошибочно получены при правильных настройках устройств подписчиков.

В перспективе сквозная модель может быть модифицирована, например, добавлением GOOSE и MMS-сообщений, а также расчетом более сложных сценариев ОЗЗ.

В данной работе показана сквозная модель сети 6 (10) кВ с ОЗЗ, по результатам расчета которой в режиме реального времени в сеть генерируется SV-поток по МЭК 61850. SV-поток может быть достоверно распознан любым сторонним принимающим устройством.

Модель может использоваться для разработки и тестирования цифровых защит в ВАПС с архитектурой 3 типа.

Список источников

1. Шуин В. А., Гусенков А. В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6–10 кВ. М. : НТФ «Энергопрогресс», 2001. 104 с.
2. Аржанников Е. А., Чухин А. М. Методы и приборы определения мест повреждения на линиях электропередачи. М. : НТФ «Энергопрогресс», 1998. 64 с.
3. Тимофеев Д. М., Еремеев Д. Г. Автоматизация испытаний устройств РЗА с помощью отечественных ПАК моделирования переходных процессов в режиме РВ // Релейщик. 2023. № 2 (46). С. 32–37.
4. Майоров А. В. Технические решения для повышения надежности эксплуатации распределительных электрических сетей в рамках цифровой трансформации // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № 3 (14). С. 2–6.
5. Лебедев В. Д. [и др.]. Теория и практика применения цифровых измерительных трансформаторов тока и напряжения // Релейщик. 2023. № 1 (45). С. 42–49.
6. Технические требования к компактным устройствам релейной защиты 6–35 кВ // ПАО «Россети». URL: <https://www.rosseti.ru/upload/iblock/545/t0vad6zk a3qcfwt4dqjpv1v3ubtqaffw.pdf> (дата обращения: 17.06.2025).
7. Каталог компактных устройств РЗА 6-35 кВ // ООО «РЗА». URL: <https://www.rza.ru/catalog/kompaktnye-ustroystva-rza-6-35-kv/> (дата обращения: 17.06.2025).

8. Солдатов А. В. [и др.]. Автоматизированный мониторинг и анализ функционирования релейной защиты и автоматики // Релейная защита и автоматизация. 2020. № 3. С. 50–56.
9. КПМ-Ритм. URL: <https://kpm-ritm.ru> (дата обращения: 18.06.2025).
10. Костюченко В. Ф. Проектирование систем сельского электроснабжения : учебное пособие. Красноярск, 2016. 198 с.

References

1. Shuin V. A., Gusenkov A. V. *Zashchity ot zamykaniy na zemliu v elektricheskikh setiakh 6–10 kV*. [Protection against earth faults in electrical networks of 6-10 kV]. Moscow : Scientific and technical company «Energoprogress», 2001, 104 p. (in Russian)
2. Arzhannikov E. A., Chukhin A. M. *Metody i pribory opredeleniia mest povrezhdeniia na liniyakh elektroperedachi*. [Methods and devices for determining damage sites on power transmission lines]. Moscow : Scientific and technical company «Energoprogress», 1998. 64 p. (in Russian)
3. Timofeev D. M., Ereemeev D. G. Automation of testing of REA devices using domestic transient simulation packages in the RV mode. // *Releishchik*. [Releishchik]. 2023, No. 2 (46), pp. 32-37. (in Russian)
4. Maiorov A. V. Technical solutions for improving the reliability of electrical distribution networks in the context of digital transformation // *Elektroenergiia. Peredacha i raspredelenie*. [Electricity. Transmission and distribution]. Transmission and distribution. 2019, No. 3 (14), pp. 2-6.
5. Lebedev V. D. [et al.]. Theory and practice of application of digital measuring current and voltage transformers // *Releishchik*. [Releishchik]. 2023, No. 1 (45), pp. 42-49.
6. Tekhnicheskie trebovaniia k kompaktnym ustroistvam releinoi zashchity 6–35 kV // PAO «Rosseti». [Technical requirements for compact 6-35 kV relay protection devices // PJSC ROSSETI]. Available at: <https://www.rosseti.ru/upload/iblock/545/t0vad6zka3qcfwt4dqjpv1v3ubtqaffw.pdf> (Accessed 17 June 2025) (in Russian)
7. Katalog kompaktnykh ustroystv RZA 6-35 kV // ООО «RZA». [Technical requirements for compact 6-35 kV relay protection devices // PJSC ROSSETI]. Available at: <https://www.rza.ru/catalog/kompaktnye-ustroystva-rza-6-35-kv/> (Accessed 17 June 2025) (in Russian)
8. Soldatov A.V. [et al.]. Automated monitoring and analysis of the functioning of relay protection and automation. // *Releinaia zashchita i avtomatizatsiia*. [Relay protection and automation]. 2020, No. 3, pp. 50-56.
9. KPM-Ritm. [The complex of semi-natural modeling Rhythm]. Available at: <https://kpm-ritm.ru> (Accessed 18 June 2025) (in Russian)
10. Kostiuchenko V. F. *Proektirovanie sistem sel'skogo elektrosnabzheniia*. [Designing rural power supply systems]. Krasnoyarsk, 2016, 198 p. (in Russian)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВСЕНАПРАВЛЕННОЙ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ЧЕРЕЗ ВИРТУАЛЬНОЕ ПРОСТРАНСТВО

DEVELOPMENT OF A TRAJECTORY PLANNING SYSTEM FOR AN OMNIDIRECTIONAL MOBILE PLATFORM IN VIRTUAL SPACE

Нарбиков Динар Фяритович

01.04.02 Прикладная математика и информатика

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: narbikovnarbikov@mail.ru

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент

Долматов Алексей Викторович

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Dinar F. Narbikov

01.04.02 Applied mathematics and informatics

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: narbikovnarbikov@mail.ru

Scientific adviser: PhD in Engineering, Associate Professor

Alexey V. Dolmatov

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. В данном исследовании представлена разработка системы планирования траектории для всенаправленной мобильной платформы через виртуальное пространство в среде CoppeliaSim. Система интегрирует лазерный сканер RPLIDAR-A1 для сбора данных в реальном времени, алгоритмы SLAM для построения карты окружающего пространства и среду CoppeliaSim для 3D-моделирования. Ключевые задачи включают оптимизацию точности навигации, адаптацию к динамическим условиям и возможность интеграции с передовыми технологиями, такими как искусственный интеллект, ROS и виртуальная реальность. Предварительные результаты демонстрируют успешную обработку данных лидара, генерацию карты и частичное 3D-моделирование окружения в CoppeliaSim. Предлагаемая система направлена на повышение гибкости и точности автономной навигации в сложных сценариях.

Ключевые слова: всенаправленная мобильная платформа, планирование траектории, SLAM, RPLIDAR, CoppeliaSim, ROS, автономная навигация, виртуальная среда, Jetson Nano.

Annotation. This study presents the development of a trajectory planning system for an omnidirectional mobile platform operating through virtual space in the CoppeliaSim

environment. The system integrates an RPLIDAR-A1 laser scanner for real-time data acquisition, SLAM algorithms for environmental mapping, and CoppeliaSim for 3D spatial modeling. Key objectives include optimizing navigation accuracy, adapting to dynamic conditions, and enabling integration with advanced technologies such as artificial intelligence, ROS, and virtual reality. Preliminary results demonstrate successful LiDAR data processing, map generation, and partial 3D environment reconstruction in CoppeliaSim. The proposed system aims to enhance flexibility and precision in autonomous navigation for complex scenarios.

Keywords: omnidirectional mobile platform, trajectory planning, SLAM, RPLIDAR, CoppeliaSim, ROS, autonomous navigation, virtual environment, Jetson Nano.

Современные технологии в области робототехники характеризуются динамичным развитием и внедрением автономных мобильных платформ в различные сферы человеческой деятельности. Автономные роботы находят применение в таких областях, как логистика, обслуживание, сельское хозяйство и других, что обусловлено потребностью в повышении эффективности операций и улучшении качества обслуживания [1].

Данные системы становятся всё более популярными благодаря своей способности обеспечивать навигацию без необходимости в заранее известных картах и дополнительных сенсорах.

Лазерный сканер обладает высокой скоростью и точностью в измерении расстояний до объектов, что способствует созданию карт окружающей среды и обеспечению эффективной локализации мобильного робота. Работают за счет принципа измерения расстояния до объектов с помощью лазерного излучения. Устройство излучает лазерный луч, который, сталкиваясь с объектами, отражается обратно. На основе времени, за которое луч проходит от сканера до объекта и обратно, вычисляется расстояние. Эти данные позволяют формировать двумерные или трехмерные карты окружающей среды [2].

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- Разработаны алгоритмы обработки данных лазерного сканирования.
- Реализованы методы визуализации карт в среде ROS с использованием инструмента Rviz.
- Разработана система одновременной локализации и построения карты.

Проектные решения сформулированы на основе анализа требований к выбору основных компонентов программного обеспечения. В качестве операционной системы была выбрана Linux Ubuntu 20.04 с последующей инсталляцией Robot Operating System (ROS), что соответствует всем предъявляемым критериям [3–4].

Мобильная платформа использует в сборке колёса Mecanum, которые представляют из себя всенаправленную конструкцию колеса для наземного транспортного средства, позволяющую двигаться в любом направлении [5–6]. Конструкция Mecanum-колес представлена ниже на рисунке 1.

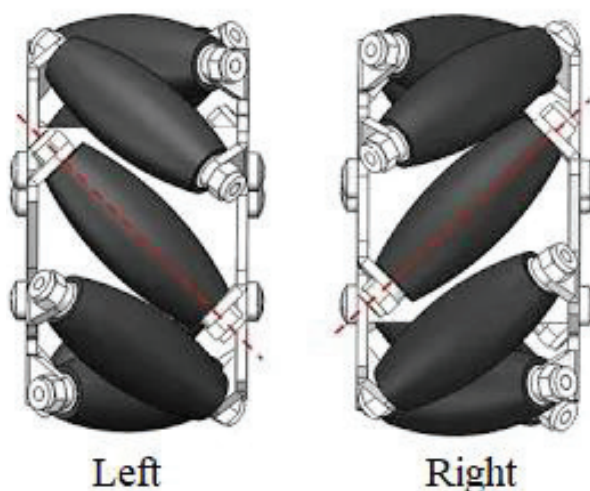


Рисунок 1 – Конструкция левого и правого Mecanum-колес

Сенсоры функционируют как «глаза» и «уши» мобильной платформы, предоставляя информацию о её пространственном положении, ориентации и окружающих объектах. Без этих данных мобильная платформа не сможет эффективно ориентироваться в пространстве, избегать препятствий и планировать свои маршруты.

В рамках проекта было применено двухмерное лазерное сканирование с использованием устройства RPLIDAR A1, разработанного компанией SLAMTEC. Этот лидар предоставляет 360-градусное поле сканирования с максимальной дальностью до 12 метров.

Для оптимальной интеграции RPLIDAR A1 в среду Robot Operating System (ROS) предусмотрена определённая ориентация системы координат (см. рисунок 2).

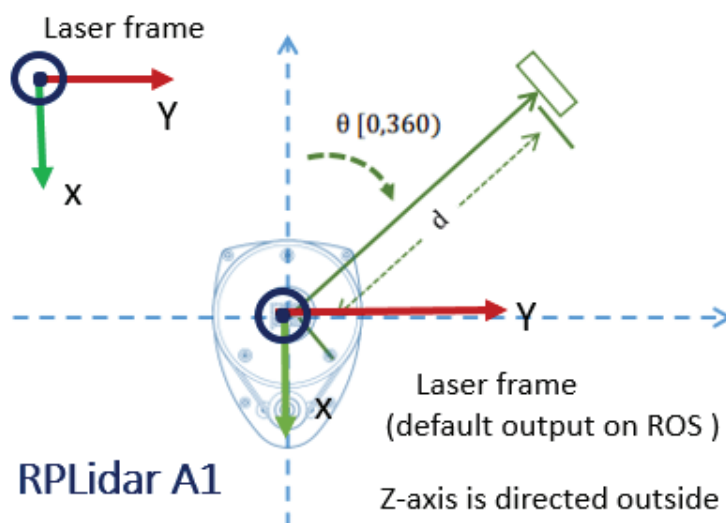


Рисунок 2 – Рекомендуемая ориентация системы координат

Лидарная система реализует метод лазерной локации, основанный на принципе оптической триангуляции для измерения расстояний. В основе работы системы лежит импульсный инфракрасный лазерный источник, генерирующий модулированные оптические сигналы с частотой повторения 8 кГц (см. рисунок 3).

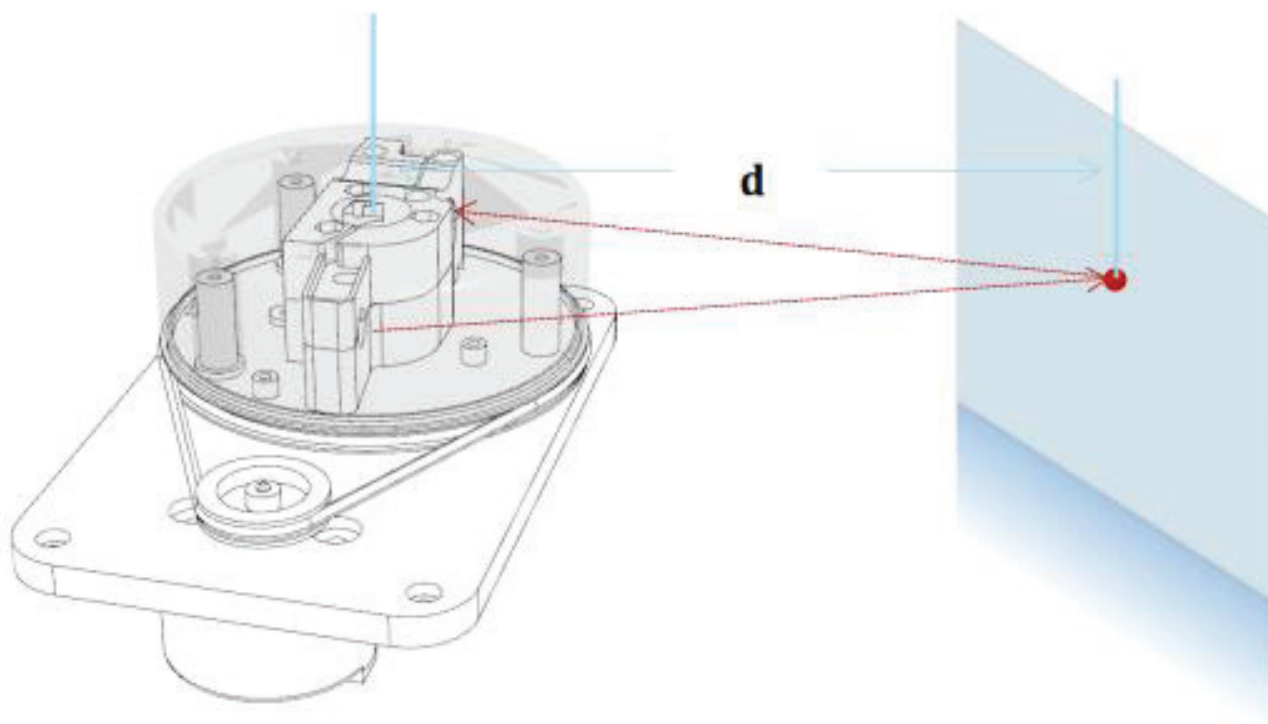


Рисунок 3 – Схема работы лазерного сканера RPLIDAR A1

Собранные данные представляют собой набор точек, каждая из которых содержит информацию о расстоянии и угле, под которым была получена информация. Обычно данные представляются в виде «облака точек», где каждая точка соответствует измеренному расстоянию до объекта.

Системы обработки данных лазерного сканирования опираются на комплекс алгоритмов, ключевым из которых является SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). Этот метод включает в себя два этапа:

1. Локализация – определение положения мобильной платформы в пространстве. Этот этап может быть реализован с использованием различных методов, таких как фильтрация Калмана или алгоритм частиц (Particle Filter). Эти подходы позволяют эффективно отслеживать положение робота, учитывая возможные шумы и неопределенности в измерениях.

2. Картографирование – процесс создания карты окружающей среды на основе данных от лидара. Этот этап может заключаться в построении карты в виде сетки (grid map), где каждая ячейка представляет собой область пространства с определенной вероятностью занятости (например, свободная, занятая или неизвестная).

На рисунке 4 представлено отображение данных, полученных от сканирования посредством двумерного лазерного сканера в текущий момент времени.

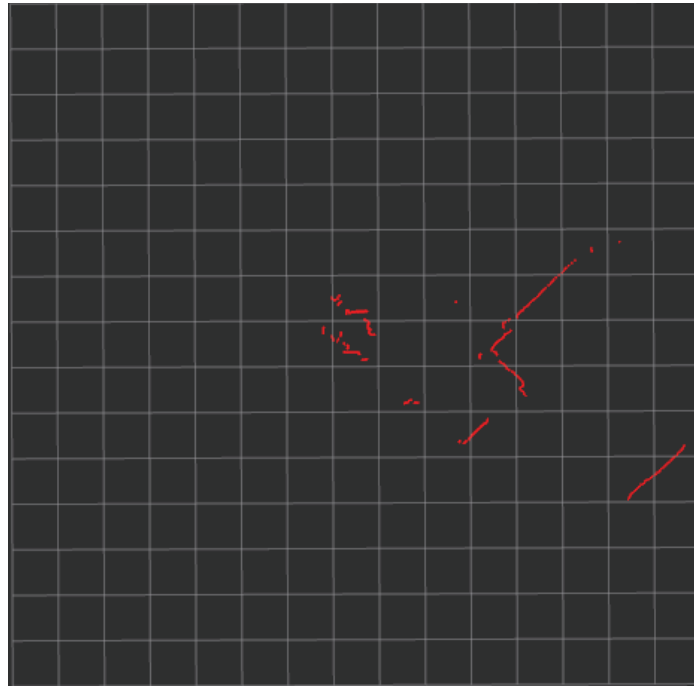


Рисунок 4 – Отображение данных лидаром

В данном исследовании для построения карты местности был применён метод GMapping. Этот алгоритм основывается на методе фильтрации частиц и осуществляет симультанную локализацию и картографирование, опираясь на данные, полученные от лазерного сканера (см. рисунок 5).

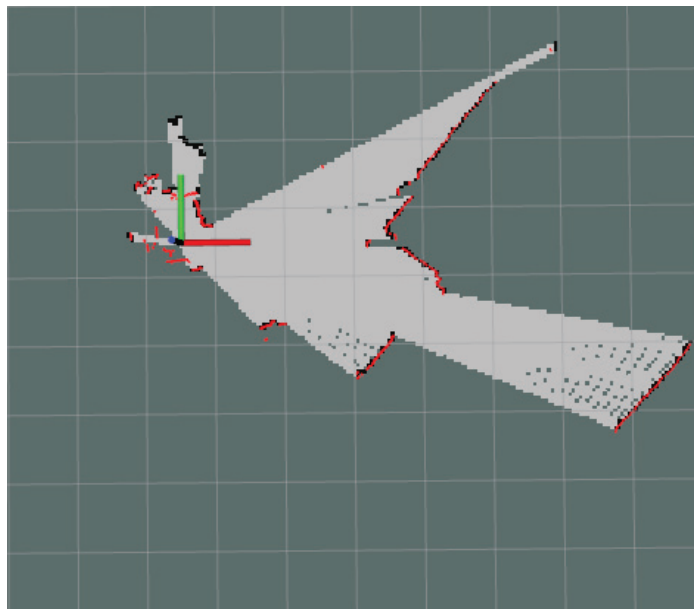


Рисунок 5 – Построение кусочка карты по данным лидара

В процессе перемещения робота и сбора новых данных от лазерного сканера карта территории подлежит расширению и обновлению.

Для создания виртуального пространства в среде CoppeliaSim была выполнена интеграция полученной 2D-карты с последующей ее конвертацией в совместимый формат и воссозданием 3D-окружения на основе лидарных данных.

В виртуальную среду была добавлена 3D-модель мобильной платформы с идентичными физическими характеристиками, что позволило реализовать цифровой двойник системы (см. рисунок 6).

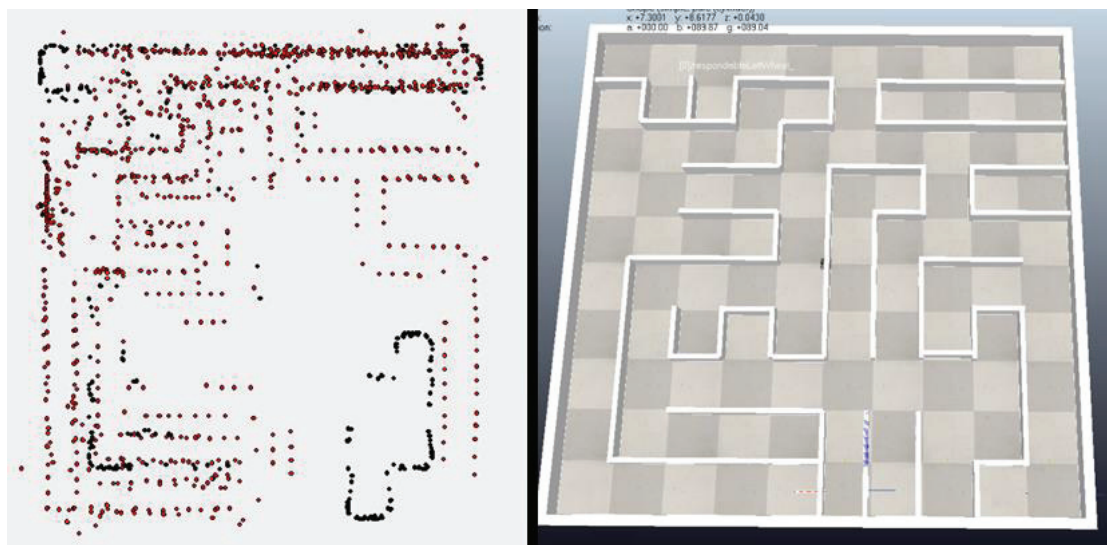


Рисунок 6 – Создание виртуального пространства по карте местности

Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанных решений в различных областях – от сервисной робототехники до систем автоматизации промышленных предприятий. Полученные результаты открывают новые возможности для создания гибких и точных систем автономной навигации мобильных платформ.

Список источников

1. Будущее робототехники в 2025 году // Geekforgeeks. URL: <https://www.geekforgeeks.org/the-future-of-robotics/> (дата обращения: 07.03.2025).
2. Принцип работы лидара // Slamtec. URL: <https://www.slamtec.com/> (дата обращения: 08.03.2025).
3. Установка ROS Noetic на Ubuntu // Ros. URL: <http://wiki.ros.org/noetic/Installation/Ubuntu> (дата обращения: 12.03.2025).
4. Официальная документация Ubuntu // Ubuntu. URL: <https://help.ubuntu.com/> (дата обращения: 16.03.2025).
5. Mecanum-колеса: перемещение в любом направлении // Techcult. URL: <https://www.techcult.ru/robots/2794-robot-mecanum-wheels> (дата обращения: 16.03.2025).

References

1. Budushchee robototekhniki v 2025 godu // Geekforgeeks. [The future of robotics in 2025 // Geekforgeeks]. Available at: <https://www.geekforgeeks.org/the-future-of-robotics/> (Accessed 07 March 2025) (in Russian)

2. Printsip raboty lidara // Slamtec. [The principle of lidar operation // Slamtec]. Available at: <https://www.slamtec.com/> (Accessed 08 March 2025) (in Russian)
3. Ustanovka ROS Noetic na Ubuntu // Ros. [Install ROS Noetic on Ubuntu // Ros]. Available at: <http://wiki.ros.org/noetic/Installation/Ubuntu> (Accessed 12 March 2025) (in Russian)
4. Ofitsial'naia dokumentatsiia Ubuntu // Ubuntu [Official Ubuntu Documentation // Ubuntu]. Available at: <https://help.ubuntu.com/> (Accessed 16 March 2025) (in Russian)
5. Mecanum-kolesa: peremeshchenie v liubom napravlenii // Techcult [Mecanum-wheels: moving in any direction // Techcult]. Available at: <https://www.techcult.ru/robots/2794-robot-mecanum-wheels> (Accessed 16 March 2025) (in Russian)

РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ УМНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ «SMARTFOXIE»

DEVELOPMENT OF THE «SMARTFOXIE» SERVICE FOR SMART DEVICE MANAGEMENT

Удовенко Михаил Игоревич

01.04.02 Прикладная математика и информатика

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: mikhail.udovenko.02@mail.ru

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент

Годовников Евгений Александрович

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Michael I. Udovenko

01.04.02 Applied Mathematics and Informatics

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: mikhail.udovenko.02@mail.ru

Scientific adviser: PhD in Engineering,

Associate professor Evgeniy A. Godovnikov

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. Цель данного исследования – это создание универсального решения, которое поможет убрать проблему фрагментации приложений умного дома посредством разработки объединяющего мобильного приложения для пользователей и CRM-системы для администраторов, застройщиков, управляющих компаний и поставщиков услуг и продуктов. Объектами и методами исследования в работе являются проведение анализа рынка и конкурентов на нем, постановка требований к разрабатываемой системе, проектирование архитектуры (Expo, Vue.js, Laravel, Express.js и FastAPI) и интеграции с внешними сервисами (S3, Redis, RabbitMQ, Sentry, Prometheus и Grafana). Результатом стал проведенный анализ рынка и конкурентов, а также спроектированная платформа, готовая к разработке и способная поддерживать интеграции с внешними сервисами и умными устройствами.

Ключевые слова: умный дом, SaaS-платформа, IoT-интеграция, мобильное приложение, CRM-система.

Annotation. This article is devoted to the development of the SmartFoxye SaaS platform, which is designed to control smart devices in residential complexes and private homes. The purpose of this research is to create a universal solution that will help eliminate the problem of fragmentation of smart home applications by developing a unified mobile

application for users and a CRM system for administrators, developers, management companies and service and product providers. The objects and methods of research in the work are conducting an analysis of the market and competitors in it, setting requirements for the system being developed, and designing the architecture (Expo, Vue.js, Laravel, Express.js and FastAPI) and integration with external services (S3, Redis, RabbitMQ, Sentry, Prometheus and Grafana). The result was an analysis of the market and competitors, as well as a designed platform ready for development and capable of supporting integration with external services and smart devices

Keywords: smart home, SaaS platform, IoT integration, mobile application, CRM system.

С каждым годом концепция умного дома становится все более популярной, с этим растет запрос на простые и эффективные инструменты для управления умными устройствами (рисунок 1).



Рисунок 1 – Прогнозируемая оценка объема рынка (млрд руб.) в России (составлено автором)

На текущий момент на рынке умных устройств существуют следующие проблемы: высокая стоимость и фрагментация приложений умного доступа. Застройщики тратят до 2 000 000 рублей на разработку уникального приложения для жилых комплексов, что в свою очередь может создавать неудобство для людей, у которых есть несколько объектов в разных жилых комплексах, а также такие приложения не масштабируются. В связи с этим целью данного исследования является анализ и проектирование платформы SFoxie.

SmartFoxie – это SaaS-платформа, которая объединяет в себе CRM для застройщиков, маркетплейс умных устройств и различных услуг (которые будут полезны для жильцов), общее приложение для конечных пользователей, предоставляющее унифицированный доступ к управлению умным домом в различных жилых комплексах, а также отдельные мобильные приложения, которые застрой-

щик сможет сгенерировать в конструкторе с учетом своего дизайна. SFoxie полностью решит проблему высоких затрат на разработку и фрагментацию рынка умного дома, предлагая масштабируемое, настраиваемое и экономически выгодное решение для застройщиков, удобное приложение для жильцов и новые возможности для поставщиков услуг.

Целью проекта является разработка комплексной платформы для управления умными устройствами, предназначенной для застройщиков, жильцов и поставщиков услуг, позволяющей снизить затраты на разработку и поддержку приложений, обеспечить унифицированный интерфейс управления и создать единую экосистему для всех участников рынка.

Задачи на проект поставлены следующие:

1. Провести анализ рынка и конкурентов.
2. Выявить экономическую выгоду проекта.
3. Спроектировать платформу.
4. Разработать CRM-системы для застройщиков, управляющих компаний, администрации сайта и поставщиков услуг.
5. Разработать главное мобильное приложение под брендингом SmartFoxie.
6. Обеспечить интеграцию платформы с различными типами умных устройств и протоколов.
7. Разработать систему кастомизации мобильного приложения под бренд застройщика.
8. Создать систему отчетности и аналитики для застройщиков.

Среди конкурентов можно выделить 3 группы: индивидуальные разработчики, крупные платформы умного дома (Apple HomeKit, Google Home, Amazon Alexa, Умный дом) и коробочные решения для умного дома от крупных производителей (например, Ростелеком).

У индивидуальных разработчиков можно выделить плюсом разработку решения, которое бы полностью удовлетворяло требованиям заказчика. Среди минусов данной группы – это высокая стоимость, длительные сроки реализации, ограниченная масштабируемость, а также риск возникновения проблем с поддержкой системы в случае прекращения сотрудничества с разработчиком.

В группе, предоставляющей крупные платформы умного дома, преимуществами можно назвать поддержку большого количества умных устройств от разных производителей, постоянное развитие своей экосистемы и улучшение функционала, интуитивно понятный интерфейс. Недостатками же являются сложность в адаптации платформ под специфические требования застройщиков (данный вариант скорее ориентирован на конечных пользователей), непредоставление CRM для застройщиков и управляющих компаний, которая бы способствовала управлению жилыми комплексами.

Коробочные решения от крупных производителей умных устройств среди преимуществ имеют быструю установку и настройку, обслуживание и поддержку напрямую от производителя, относительно низкую стоимость по сравнению с индивидуальной разработкой. Минусами данного подхода можно выделить слож-

ность адаптации под требования заказчика, ограниченную функциональность, которую не будут расширять из-за желания одного застройщика, зависимость от производителя или, другими словами, ограниченный выбор устройств и сервисов.

SmartFoxie же в свою очередь позиционируется как комплексное решение для застройщиков, которое сочетает в себе преимущества индивидуальной разработки и готовых платформ, минимизируя их недостатки. Преимуществами платформы перед индивидуальной разработкой станут низкая и фиксированная стоимость – 400 000 рублей в первый год (далее в зависимости от инфляции), быстрый запуск и масштабируемость. По сравнению с крупными платформами умного дома преимуществами являются специализированный функционал для застройщиков, возможность брендинга приложения под каждого застройщика, интеграция с поставщиками услуг и товаров. Преимуществами SmartFoxie по сравнению с коробочными решениями являются возможность управления различными типами умных устройств, не привязываясь к конкретному бренду, возможность интеграции с другими системами и сервисами.

После проведения сравнительного анализа с существующими решениями на рынке появилась необходимость стратегической оценки сильных и слабых сторон предлагаемого сервиса SmartFoxie. Для этого был проведен SWOT-анализ (таблица 1) [1].

Таблица 1 – SWOT-анализ платформы SmartFoxie

	Положительные стороны	Отрицательные стороны
Внешние факторы	<ul style="list-style-type: none"> ● Уникальное сочетание CRM, маркетплейса и мобильных приложений. ● Экономически выгодное решение для застройщика. ● Удобство для жильцов. ● Гибкость и масштабируемость 	<ul style="list-style-type: none"> ● Зависимость от интеграции с различными устройствами и протоколами умного дома. ● Необходимо привлечение поставщиков услуг на платформу. ● Новый проект, требующий завоевания доверия рынка
Внутренние факторы	<ul style="list-style-type: none"> ● Рост рынка умного дома. ● Постоянное расширение функциональности платформы. ● Партнерство с застройщиками, производителями устройств и поставщиками услуг 	<ul style="list-style-type: none"> ● Появление новых конкурентов. ● Изменения в технологиях умного дома. ● Проблемы с безопасностью данных. ● Недостаток финансирования

Составлено автором.

Представленный SWOT-анализ позволяет увидеть ключевые факторы, определяющие успех SFoxie. Для максимально эффективной реализации преимуществ и минимизации рисков необходима комплексная стратегия, направленная на укрепление сильных сторон, устранение слабых, использование благоприятных возможностей и противодействие угрозам. Например, в качестве укрепления сильных сторон и использования возможностей можно при помощи уникального сочетания CRM, маркетплейса и мобильных приложений (сильная сторона)

привлечь застройщиков, заинтересованных в комплексном решении (возможность). Для этого необходимо разработать привлекательную программу партнерства, демонстрирующую экономическую выгоду и удобство использования платформы. В качестве преодоления слабых сторон и противодействия угрозам (слабая сторона) можно рассмотреть смягчение зависимости от интеграции с различными устройствами путем активного развития API и партнерства с производителями оборудования (противодействие угрозе изменения в технологиях). Это обеспечит гибкость и масштабируемость платформы, несмотря на технологические изменения.

Экономическая привлекательность платформы основывается на диверсифицированной модели монетизации, обеспечивающей устойчивый поток доходов, а также на значительной экономии средств для застройщиков по сравнению с индивидуальными решениями.

Среди источников доходов рассматриваются:

1. Фиксированная плата за добавление жилого комплекса. Данный доход рассматривается как основной источник дохода. В первый год работы планируется установить цену 400 000 рублей.

2. Комиссия с заказов, размещенных через маркетплейс, будет составлять 5 %.

3. SmartFoxie будет предлагать застройщикам и жильцам приобрести сертифицированные умные устройства непосредственно через платформу, планируемая маржа будет составлять 10–15 %.

4. Ежегодная плата за обслуживание системы будет покрывать расходы на поддержку, обновление и развитие платформы.

По данным за 2024 год, в России насчитывается 4 221 застройщик и возведено 4 503 жилых комплекса, что свидетельствует о значительном потенциале рынка для сервиса [2][3]. Для более точной оценки рыночного потенциала была применена модель расчета объема рынка продуктов – TAM/SAM/SOM [4]. Для расчета оценки TAM возьмем среднюю стоимость оснащения одной квартиры умными устройствами = 50 000 рублей. За среднее количество квартир в одном жилом комплексе возьмем цифру = 200, тогда потенциальная стоимость оснащения умными устройствами для одного ЖК = 10 000 000 рублей. Из этих денег маржа будет составлять 1 000 000 рублей, или 10 %, также добавляем фиксированную плату за добавление ЖК в размере 400 000 рублей, и таким образом общий объем рынка (TAM), по приблизительной оценке, можно рассчитать следующим образом: $1\,400\,000 * 4\,503 = 6\,304\,200\,000$ рублей. Объем рынка, который можно охватить (SAM), оценивается в 10 %, или 630 420 000 рублей. Объем рынка, который планируется занять в первый год работы, = 0,27 %, или 17 000 000 рублей. Количество застройщиков как постоянных клиентов – 6, количество обслуживаемых объектов – 12.

Представленная модель монетизации, основанная на диверсифицированных источниках дохода, а также существенная экономия для застройщиков делают SmartFoxie экономически привлекательным решением на рынке управления умными устройствами. Планируемые показатели доли рынка и количества

постоянных клиентов свидетельствуют о реалистичном подходе к достижению поставленных целей и обеспечению устойчивого роста сервиса.

Архитектура системы SmartFoxye включает в себя (рисунок 2):

1. Мобильное приложение на React Native с фреймворком Expo.
2. Frontend части на Vue.js, с UI фреймворком Quasar.
3. Backend на PHP с фреймворком Laravel.
4. Backend hardware на Python с фреймворком FastAPI.
5. Backend для уведомлений на Typescript с фреймворком Express.
6. Файловое хранилище S3.
7. Хранилище для очередей и списка просроченных токенов Redis.
8. База данных на PostgreSQL.
9. Взаимодействие между бэкендами RabbitMQ.
10. Сбор аналитики через Prometheus и отображение в Grafana.
11. Отображение ошибок в Sentry.
12. Gitlab CI/CD с nginx и Docker.

Данное исследование было посвящено проектированию SaaS SmartFoxye, которая направлена на решение проблемы фрагментации управления умными устройствами в жилых комплексах и частных домах. В рамках работы был проведен всесторонний анализ рынка и конкурентной среды, что позволило сформулировать требования к разрабатываемой системе и спроектировать архитектуру платформы.

Результатом исследования стала спроектированная платформа, готовая к дальнейшей разработке и обладающая необходимым потенциалом для поддержки интеграций с разнообразными умными устройствами и внешними сервисами. Дальнейшие исследования и разработки будут направлены на практическую реализацию спроектированной платформы и ее успешное внедрение на рынок.

Список источников

1. Сухарев П. Н., Григоренко А. С. Метод SWOT-анализа: его преимущества и недостатки // Экономические науки. Маркетинг и менеджмент. 2010. № 6. С. 25–28.
2. Основные показатели жилищного строительства: статистический обзор | Единая информационная система жилищного строительства // Единая информационная система жилищного строительства. URL: https://наш.дом.рф/аналитика/показатели_жилищного_строительства (дата обращения: 10.04.2025).
3. ЕРЗ-Аналитика: аналитический обзор // Единый ресурс застройщиков. URL: <https://erzrf.ru/images/repfle/24966645001REPFILE.pdf> (дата обращения: 10.04.2025).
4. Лейбов А. Как оценить объем рынка по методам PAM, TAM, SAM, SOM // РУСБЕЙС. URL: <https://rb.ru/opinion/pam-tam-sam-som/?ysclid=m9gk2oeay131024692> (дата обращения: 10.04.2025).

References

1. Sukharev P. N., Grigorenko A. S. The SWOT analysis method: its advantages and disadvantages // *Ekonomicheskie nauki. Marketing i menedzhment*. [Economic sciences. Marketing and management]. 2010, No. 6, pp. 25-28.
2. Osnovnye pokazateli zhilishchnogo stroitel'stva: statisticheskii obzor | Edinaia informatsionnaia sistema zhilishchnogo stroitel'stva // Edinaia informatsionnaia sistema zhilishchnogo stroitel'stva. [Key indicators of housing construction: statistical review | Unified information system of housing construction // Unified information system of housing construction]. Available at: https://наш.дом.рф/аналитика/показатели_жилищного_строительства (Accessed 10 April 2025) (in Russian)
3. ERZ-Analitika: analiticheskii obzor // Edinyi resurs zastroishchikov. [SRD-Analytics: an analytical review // A single resource for developers]. Available at: <https://erzrf.ru/images/repfle/24966645001REPFLE.pdf> (Accessed 10 April 2025) (in Russian)
4. Leibov A. Kak otsenit' ob»em rynka po metodam PAM, TAM, SAM, SOM // RUSBEIS. [Leibov A. How to estimate the market volume using the methods of PAM, TAM, SAM, SOM // RUSBASE]. Available at: <https://rb.ru/opinion/pam-tam-sam-som/?ysclid=m9gk2oeayl31024692> (Accessed 10 April 2025) (in Russian)

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПРОВОДНИКОВ ПРИ ОТСУТСТВИИ
ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

**ANALYTICAL MODELING OF THE MAGNETIC FIELD OF CURVED
CONDUCTORS IN THE ABSENCE OF EXTERNAL INFLUENCES**

Шестаков Андрей Сергеевич

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

г. Барнаул, Россия

e-mail: andshest237@gmail.com

Научный руководитель: доктор техн. наук, профессор

Титов Евгений Владимирович

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

г. Барнаул, Россия

Andrey S. Shestakov

13.03.02 Electric power and electrical engineering

Altai State Technical University named after I. I. Polzunov, Barnaul, Russia

e-mail: andshest237@gmail.com

Scientific adviser: Doctor of Technical Sciences, Professor Evgeniy V. Titov

Altai State Technical University named after I. I. Polzunov

Barnaul, Russia

Аннотация. Представлен аналитический метод расчета магнитного поля, создаваемого криволинейным проводником произвольной формы в условиях отсутствия внешних воздействий. В основе метода лежит описание проводника с помощью векторной функции, задающей его форму в пространстве. Получены точные аналитические выражения для вектора магнитной индукции в произвольной точке пространства как функции координаты и времени.

Ключевые слова: закон Био – Савара – Лапласа, закон Фарадея, векторное уравнение кривой, магнитный поток, ЭДС индукции.

Annotation. An analytical method for calculating the magnetic field created by a rectilinear conductor of arbitrary shape in the absence of external influences is presented. The method is based on the description of a conductor using a vector function that defines its shape in space. Precise analytical expressions are obtained for the magnetic induction vector at an arbitrary point in space as a function of coordinate and time.

Keywords: Biot – Savard – Laplace law, Faraday's law, vector equation of the curve, magnetic flux, induction EMF.

Определение вектора магнитной индукции в заданной области пространства как векторной функции координат и времени имеет важное значение в производстве и в быту, поскольку позволяет контролировать уровень магнитного поля для предотвращения вредного воздействия на здоровье работников, оптимизировать работу электрических машин, понизить их энергозатраты. Моделирование электромагнитного поля дает возможность прогнозировать, как поля различных устройств будут взаимодействовать друг с другом, это особенно важно для проектирования электрических машин, антенн, роутеров, маршрутизаторов и других ЭУ.

Метод нахождения вектора магнитной индукции, предложенный в этой статье, основан на применении закона Био – Савара – Лапласа к криволинейному проводнику, заданному векторным уравнением: $L: \vec{r}(v)=(x(v),y(v),z(v))$, L – кривая, являющаяся годографом вектор-функции $\vec{r}(v)$, начало вектора $\vec{r}(v)$ зафиксировано в начале заданной системы координат [1, с. 288], v – параметр, задающий кривую. По проводнику протекает ток I , который может изменяться во времени $I(t)$ [2]. Основываясь на форме записи закона Био – Савара – Лапласа в условиях отсутствия ферромагнитных сред [3, с. 121], малый элемент кривой dL , параметризованной вектор-функцией $\vec{r}(v)$, можно заменить дифференциалом вектор-функции $d(\vec{r}(v))=(\vec{r}(v))'dv$, это будет выполняться, если компоненты $\vec{r}(v)$ – непрерывно дифференцируемые функции. Если из начала координат провести вектор \vec{R}_M в точку M , то вектор \vec{R}_M , проведенный из элемента dL проводника в точку M , можно заменить разностью $\vec{R}_M - \vec{r}(v)$, тогда выражение для закона Био – Савара – Лапласа, с учетом медленного изменения тока во времени, когда поле считается квазистатическим, примет вид:

$$\vec{dB}(t) = \frac{\mu\mu_0 I(t)}{4\pi} \cdot \frac{d(\vec{r}(v)) \times (\vec{R}_M - \vec{r}(v))}{|\vec{R}_M - \vec{r}(v)|^3}.$$

Будем рассматривать участок кривой, соответствующий изменению параметра v от v_0 до v_n :

$$d(\vec{r}(v)) = d(x(v), d(y(v)), d(z(v))) = (x'dv, y'dv, z'dv). \quad (1.2)$$

Расписывая модуль вектора в знаменателе и векторное произведение в декартовых координатах покомпонентно в формуле (1.1) и учитывая формулу (1.2), можно выразить компоненты вектора $\vec{dB}(t)$: $dB_x(t)$, $dB_y(t)$, $dB_z(t)$ вдоль координатных осей Ox , Oy , Oz [4]:

$$|\vec{R}_M - \vec{r}(v)|^3 = (\sqrt{(x_M - x(v))^2 + (y_M - y(v))^2 + (z_M - z(v))^2})^3$$

$$d(\vec{r}(v)) \times (\vec{R}_M - \vec{r}(v)) = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x'dv & y'dv & z'dv \\ x_M - x(v) & y_M - y(v) & z_M - z(v) \end{vmatrix} \quad (1.3)$$

$$\begin{aligned}
dB_x(t) &= \frac{\mu\mu_0 I(t)}{4\pi} \cdot \frac{(y'(z_M - z(v)) - z'(y_M - y(v)))}{(\sqrt{(x_M - x(v))^2 + (y_M - y(v))^2 + (z_M - z(v))^2})^3} dv \\
dB_y(t) &= \frac{\mu\mu_0 I(t)}{4\pi} \cdot \frac{(z'(x_M - x(v)) - x'(z_M - z(v)))}{(\sqrt{(x_M - x(v))^2 + (y_M - y(v))^2 + (z_M - z(v))^2})^3} dv \\
dB_z(t) &= \frac{\mu\mu_0 I(t)}{4\pi} \cdot \frac{(x'(y_M - y(v)) - y'(x_M - x(v)))}{(\sqrt{(x_M - x(v))^2 + (y_M - y(v))^2 + (z_M - z(v))^2})^3} dv.
\end{aligned} \tag{1.4}$$

Здесь координаты точки М обозначены как x_M, y_M, z_M . Координаты вектор-функции $\vec{r}(v)$ и их производные по параметру v обозначены как $x(v), y(v), z(v)$ и x', y', z' соответственно. $dB_x(t), dB_y(t), dB_z(t)$ являются частичными вкладами магнитного поля в точке М от малого элемента проводника dL , чтобы учесть частичные вклады векторов магнитной индукции в точке М от всех малых элементов кривой L , нужно по отдельности просуммировать по v от v_0 до v_n каждую компоненту вектора $d\vec{B}(t)$ [5]:

$$\begin{aligned}
B_x(t) &= \frac{\mu\mu_0 I(t)}{4\pi} \cdot \int_{v_0}^{v_n} \frac{y'(z_M - z(v)) - z'(y_M - y(v))}{(\sqrt{(x_M - x(v))^2 + (y_M - y(v))^2 + (z_M - z(v))^2})^3} dv \\
B_y(t) &= \frac{\mu\mu_0 I(t)}{4\pi} \cdot \int_{v_0}^{v_n} \frac{z'(x_M - x(v)) - x'(z_M - z(v))}{(\sqrt{(x_M - x(v))^2 + (y_M - y(v))^2 + (z_M - z(v))^2})^3} dv \\
B_z(t) &= \frac{\mu\mu_0 I(t)}{4\pi} \cdot \int_{v_0}^{v_n} \frac{x'(y_M - y(v)) - y'(x_M - x(v))}{(\sqrt{(x_M - x(v))^2 + (y_M - y(v))^2 + (z_M - z(v))^2})^3} dv.
\end{aligned} \tag{1.5}$$

Векторной суммой $dB_x(t), dB_y(t), dB_z(t)$ можно получить значение $\vec{B}(t)$ в рассматриваемой точке М.

Для сравнения с полученными формулами было произведено построение модели в программе CST Studio Suite. Был выбран проводник с векторным уравнением $\vec{r}(v) = (5\sin(v)\cos(v), 2\sin(v)+2, \cos(3v))$ с изменением параметра $v \in [0, 2\pi - 0, 01]$. Между точками, соответствующими крайним значениям параметризации, включен источник постоянного тока 100 А, выбраны единицы измерения внутри программ м, МГц, °С, мс. Решению по формулам были поставлены в сравнение результаты, полученные в CST Studio. Решение осуществлялось при помощи Eigenmode Solver в нескольких плоскостях с нахождением значений в четырех точках. К магнитной индукции, найденной по формулам (1.5), было применено материальное уравнение для однородной изотропной среды $H = \frac{B}{\mu\mu_0}$ (принята $\mu = 1$) для нахождения H , так как Eigenmode Solver выдает результат в виде магнитной напряженности. Была использована функция, показывающая модуль вектора H в места курсора (значение модуля написано после слова value), для соответствующей точки был рассчитан модуль по формулам (1.5) с использованием встроенных функций графического калькулятора Desmos. Для удобства вычислений были введены промежуточные переменные для составляющих поля – n, m, k ; для координат точки – a, b, c . Результаты измерений отличаются на 1,5–6 % и представлены на рисунках ниже (рис. 1–8).

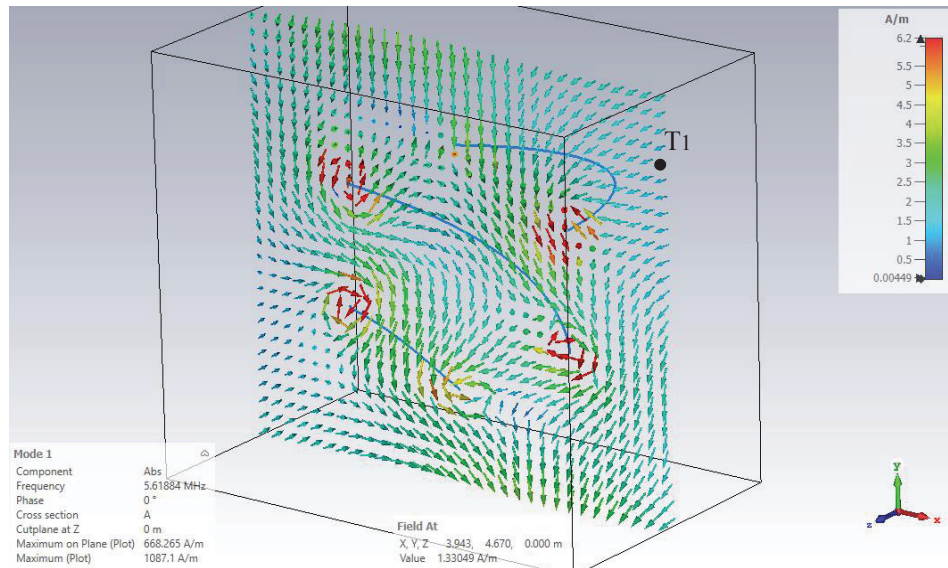


Рисунок 1 – Результаты моделирования магнитного поля для точки T₁ в CST Studio Suite

$$n = 100 \cdot 10^{-7} \cdot \int_0^{2\pi-0.01} \frac{2 \cdot \cos(t) \cdot (c - \cos(3t)) + 3 \sin(3t) \cdot (b - 2 \cdot \sin(t) - 2)}{(\sqrt{(a - 5 \cdot \sin(t) \cdot \cos(t))^2 + (b - 2 \cdot \sin(t) - 2)^2 + (c - \cos(3t))^2})^3} dt$$

$$= 0.00000155590202193$$

$$m = 100 \cdot 10^{-7} \cdot \int_0^{2\pi-0.01} \frac{-3 \cdot \sin(3t) \cdot (a - 5 \cdot \sin(t) \cdot \cos(t)) - 5 \cdot \cos(2t) \cdot (c - \cos(3t))}{(\sqrt{(a - 5 \cdot \sin(t) \cdot \cos(t))^2 + (b - 2 \cdot \sin(t) - 2)^2 + (c - \cos(3t))^2})^3} dt$$

$$= -7.3974038962 \times 10^{-8}$$

$$k = 100 \cdot 10^{-7} \cdot \int_0^{2\pi-0.01} \frac{5 \cdot \cos(2t) \cdot (b - 2 \cdot \sin(t) - 2) - 2 \cdot \cos(t) \cdot (a - 5 \cdot \sin(t) \cdot \cos(t))}{(\sqrt{(a - 5 \cdot \sin(t) \cdot \cos(t))^2 + (b - 2 \cdot \sin(t) - 2)^2 + (c - \cos(3t))^2})^3} dt$$

$$= -5.2615546638 \times 10^{-7}$$

$a = 3.943$
 $b = 4.67$
 $c = 0$

$$\frac{\sqrt{n^2 + m^2 + k^2}}{1 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}$$

$$= 1.30835209306$$

Рисунок 2 – Результаты расчета магнитной напряженности для точки T₁ по формулам (1.5)

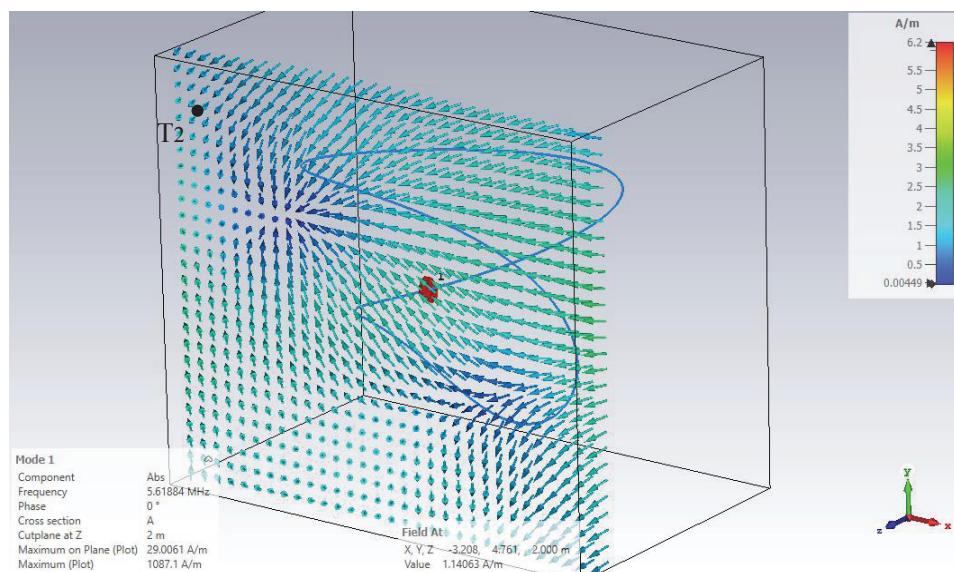


Рисунок 3 – Результаты моделирования магнитного поля для точки T₂ в CST Studio Suite

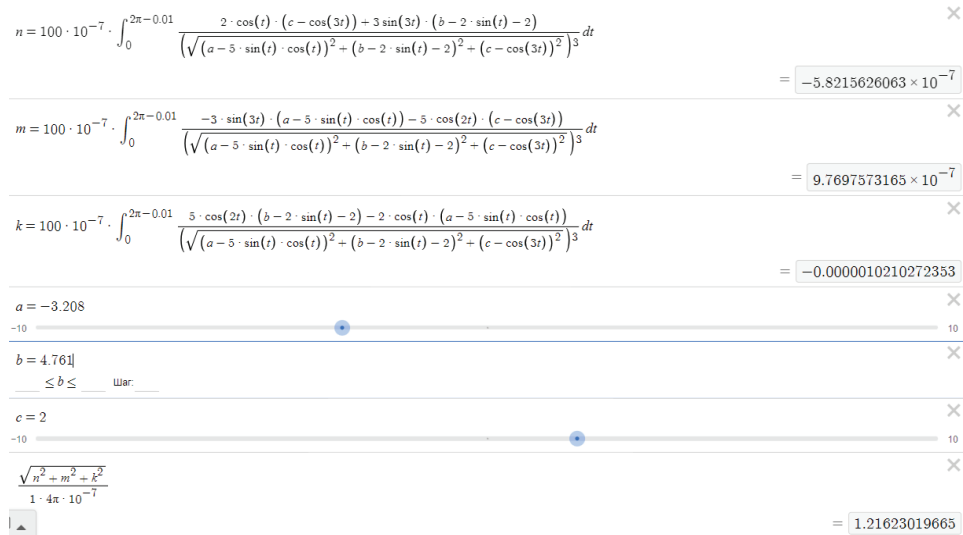


Рисунок 4 – Результаты расчета магнитной напряженности для точки T_2 по формулам (1.5)

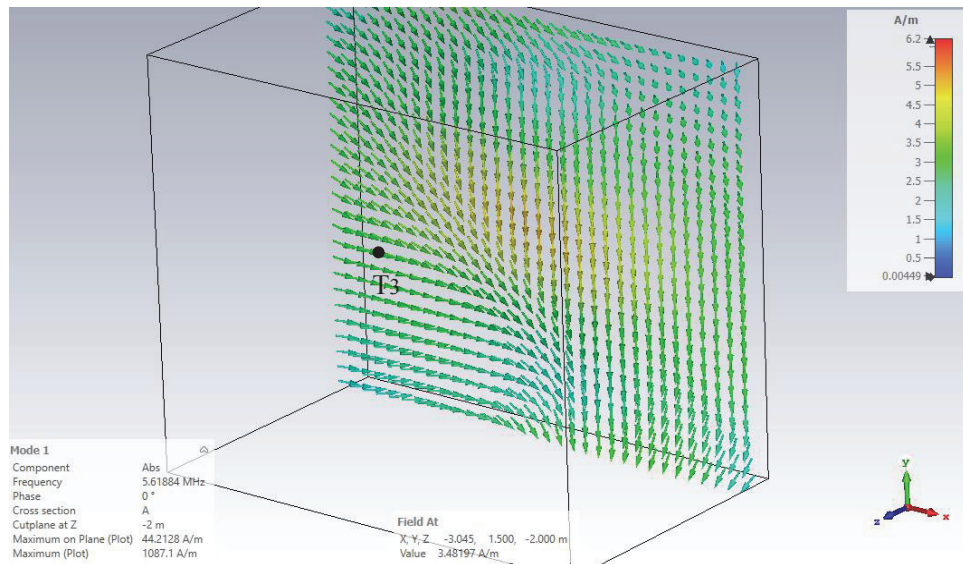


Рисунок 5 – Результаты моделирования магнитного поля для точки T_3 в CST Studio Suite

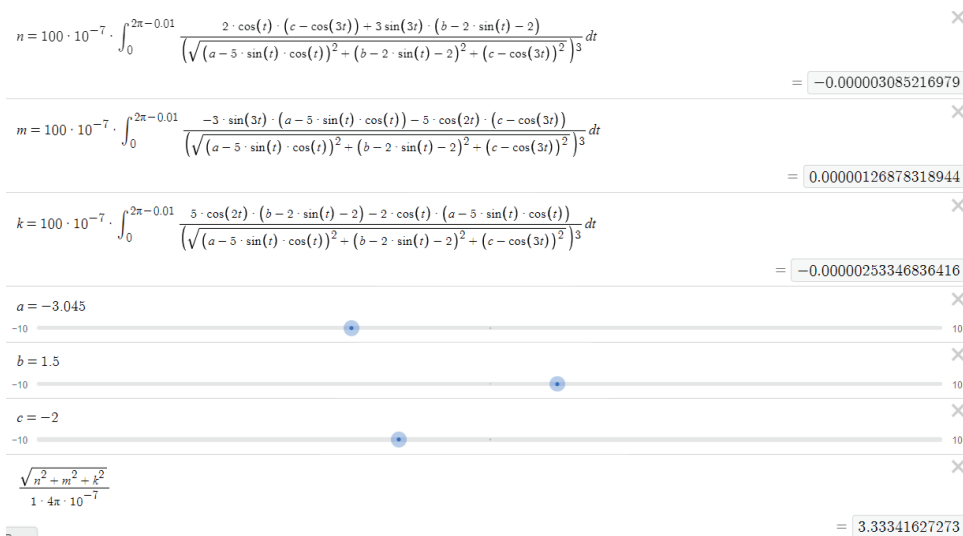


Рисунок 6 – Результаты расчета магнитной напряженности для точки T_3 по формулам (1.5)

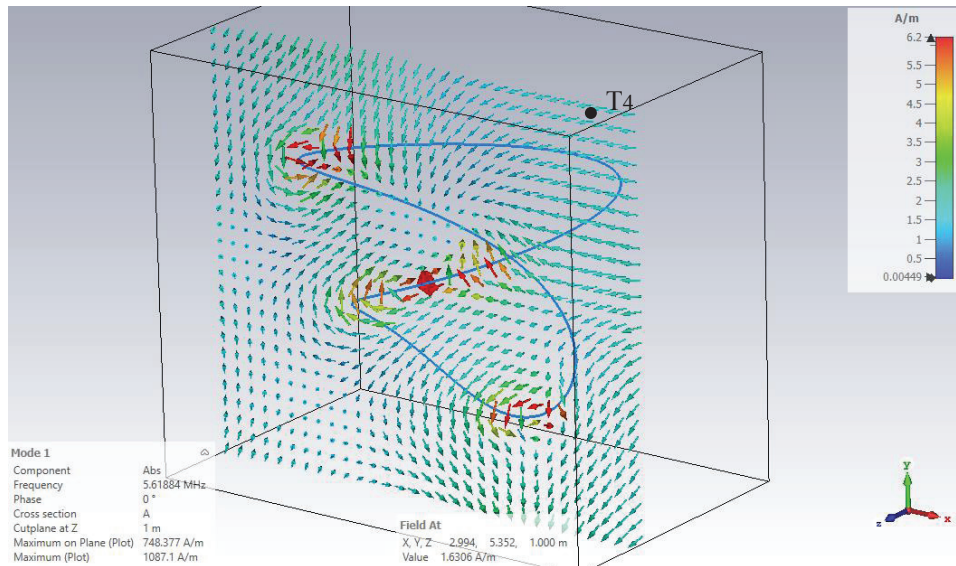


Рисунок 7 – Результаты моделирования магнитного поля для точки T_4 в CST Studio Suite

$$n = 100 \cdot 10^{-7} \cdot \int_0^{2\pi-0.01} \frac{2 \cdot \cos(r) \cdot (c - \cos(3r)) + 3 \sin(3r) \cdot (b - 2 \cdot \sin(r) - 2)}{(\sqrt{(a - 5 \cdot \sin(r) \cdot \cos(r))^2 + (b - 2 \cdot \sin(r) - 2)^2 + (c - \cos(3r))^2})^3} dt$$

$$= 0.00000153381854075$$

$$m = 100 \cdot 10^{-7} \cdot \int_0^{2\pi-0.01} \frac{-3 \cdot \sin(3r) \cdot (a - 5 \cdot \sin(r) \cdot \cos(r)) - 5 \cdot \cos(2r) \cdot (c - \cos(3r))}{(\sqrt{(a - 5 \cdot \sin(r) \cdot \cos(r))^2 + (b - 2 \cdot \sin(r) - 2)^2 + (c - \cos(3r))^2})^3} dt$$

$$= 0.00000123412351841$$

$$k = 100 \cdot 10^{-7} \cdot \int_0^{2\pi-0.01} \frac{5 \cdot \cos(2r) \cdot (b - 2 \cdot \sin(r) - 2) - 2 \cdot \cos(r) \cdot (a - 5 \cdot \sin(r) \cdot \cos(r))}{(\sqrt{(a - 5 \cdot \sin(r) \cdot \cos(r))^2 + (b - 2 \cdot \sin(r) - 2)^2 + (c - \cos(3r))^2})^3} dt$$

$$= 4.1467742514 \times 10^{-7}$$

$a = 2.994$

$b = 5.352$

$c = 1$

$$\frac{\sqrt{n^2 + m^2 + k^2}}{1 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}$$

$$= 1.61316122319$$

Рисунок 8 – Результаты расчета магнитной напряженности для точки T_4 по формулам (1.5)

Зная, как в конкретной точке пространства будет изменяться вектор магнитной индукции, можно рассчитывать поток этого вектора через поверхности, ограниченные замкнутыми проводящими контурами [6]. В координатной форме, когда поверхность проецируется на три координатные плоскости, поток вектора магнитной индукции через поверхность S , ограниченную проводящим контуром, записывается в виде [7, с. 21]:

$$\Phi(t) = \iint_S B_x(x, y, z, t) dydz + B_y(x, y, z, t) dx dz + B_z(x, y, z, t) dx dy. \quad (1.10)$$

В формуле (1.10) используется вектор магнитной индукции в произвольной точке поверхности S , координаты точки M в формулах (1.5) заменены произвольными. Операции дифференцирования по времени и интегрирования по координатам выполняются независимо, следовательно, домножением производной магнитного потока на -1 можно получить ЭДС индукции [5], наводимую в контуре переменным магнитным потоком по закону Фарадея [5, с. 100]:

$$-\frac{d(\Phi(t))}{dt} = \iint_S \left(-\frac{\partial}{\partial t} B_x(x, y, z, t) \right) dydz + \left(-\frac{\partial}{\partial t} B_x(x, y, z, t) \right) dx dz + \left(-\frac{\partial}{\partial t} B_x(x, y, z, t) \right) dx dy \quad (1.11)$$

$$e_i(t) = \iint_S \left(-\frac{\partial}{\partial t} B_x(x, y, z, t) \right) dydz + \left(-\frac{\partial}{\partial t} B_x(x, y, z, t) \right) dx dz + \left(-\frac{\partial}{\partial t} B_x(x, y, z, t) \right) dx dy. \quad (1.12)$$

Таким образом, применение описанного метода в дополнение к существующим методам расчета магнитного поля позволяет повысить точность моделирования переменных магнитных полей, создаваемых токами невысоких частот в условиях отсутствия внешних воздействий, что способствует улучшению прогнозирования режимов работы электроустановок и повышению безопасности электромагнитной обстановки вблизи излучающего электрооборудования.

Список источников

1. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов : учебное пособие для втузов. 13-е изд. М. : Наука, 1985. Т. 1. 432 с.
2. Численное моделирование проволочных антенн : метод. пособие для курсового и дипломного проектирования по дисциплине «Антенны и устройства СВЧ» для студентов специальности «Радиотехника» / сост. О. А. Юрцев [и др.]. Мн. : БГУИР, 2002. 78 с.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. 8-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. шк., 1986. 263 с.
4. Демидчик В. И. Интегральное уравнение для тонких проводников с диэлектрическим покрытием // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика. 2000. № 3. С. 29–31.
5. Кустов С. Л. Электричество и магнетизм. Барнаул : Изд-во АлтГТУ. 2019. 142 с.
6. Лемешко Н. В., Захарова С. С. Моделирование излучения пространственных электрически коротких криволинейных проводников // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2014. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-izlucheniya-prostranstvennyh-elektricheski-korotkih-krivolineynyh-provodnikov/viewer> (дата обращения: 02.04.2025).
7. Кеда О. А. [и др.]. Математика : учебное пособие. Ч. 8: Теория поля. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. 112 с.

References

1. Piskunov N. S. *Differentsial'noe i integral'noe ischisleniia dlia vtuzov*. [Differential and integral calculus for higher education institutions]. Moscow : Nauka, 1985, Vol. 1, 432 p. (in Russian)
2. O. A. Iurtsev [et al.]. *Chislennoe modelirovanie provolochnykh antenn : metod. posobie dlia kursovogo i diplomnogo proektirovaniia po distsipline «Antenny i ustroistva SVCh» dlia studentov spetsial'nosti «Radiotekhnika»*. [Numerical simulation

of wire antennas : a method. handbook for course and diploma design in the discipline «Antennas and microwave devices» for students of the specialty «Radio Engineering»]. Mn. : BGUIR, 2002, 78 p.

3. Bessonov L. A. *Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki. Elektromagnitnoe pole.* [Theoretical foundations of electrical engineering. The electromagnetic field]. 8th ed., revised and additional. Moscow : Higher School, 1986, 263 p.

4. Demidchik V. I. Integral equation for thin conductors with dielectric coating // *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 1, Fizika. Matematika. Informatika.* [Bulletin of the Belarusian State University. Series 1, Physics. Mathematics. Computer science]. 2000, No. 3, pp. 29-31.

5. Kustov S. L. *Elektrichestvo i magnetizm.* [Electricity and magnetism]. Barnaul : Publishing house of AltSTU, 2019, 142 p.

6. Lemeshko N. V., Zakharova S. S. Modelirovanie izlucheniia prostranstvennykh elektricheskikh korotkikh krivolineinykh provodnikov // *Novye informatsionnye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh.* [Lemeshko N. V., Zakharova S. S. Modeling the radiation of spatial electrically short curved conductors // New information technologies in automated systems]. Available at: [https:// cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-izlucheniya-prostranstvennykh-elektricheskikh-korotkikh-krivolineynykh-provodnikov/viewer](https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-izlucheniya-prostranstvennykh-elektricheskikh-korotkikh-krivolineynykh-provodnikov/viewer) (Accessed 2 April 2025) (in Russian)

7. Keda O. A. [et al.]. *Matematika : uchebnoe posobie.* Ch. 8: Teoriia polia. [Mathematics : a textbook. Part 8: Field theory]. Yekaterinburg : Ural Publishing House University, 2014, 112 p.

**ЭМОДЗИ И РЕАКЦИИ В МЕССЕНДЖЕРАХ КАК АКЦЕПТ:
НОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ ДОГОВОРНОГО ПРАВА**

**EMOJIS AND REACTIONS IN MESSENGERS AS ACCEPTANCE:
THE NEW REALITY OF CONTRACT LAW**

Юдина Дарья Сергеевна

40.03.01 Юриспруденция

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

e-mail: yudina.darya05@mail.ru

Научный руководитель: доцент Центра образовательного инжиниринга

Коцюрко Елена Петровна

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

Darya S. Yudina

40.03.01 Jurisprudence

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

e-mail: yudina.darya05@mail.ru

Scientific adviser: Associate Professor at the Center for

Educational Engineering Elena P. Kotsyurko

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. Статья посвящена правовой оценке эмодзи и реакций в мессенджерах в гражданском праве, в частности их роли как акцепта. Анализируется возможность признания графических символов доказательством намерения сторон заключить договор. Обсуждаются проблемы, судебная практика и диспозитивный подход, при котором стороны сами определяют юридическую значимость символов. Подчеркивается важность адаптации права к цифровым технологиям. *Ключевые слова:* эмодзи, реакции, акцепт, договор, интерпретация, свобода договора.

Annotation. The article is devoted to the legal assessment of emojis and reactions in messengers in civil law, in particular, their role as acceptance. The possibility of recognizing graphic symbols as proof of the parties' intention to conclude a contract is analyzed. Problems, judicial practice and a dispositive approach are discussed, in which the parties themselves determine the legal significance of the symbols. The importance of adapting law to digital technologies is emphasized.

Keywords: emojis, reactions, acceptance, contract, interpretation, freedom of contract.

Распространение цифровых технологий и использование мессенджеров в деловой среде требуют правовой оценки использования эмодзи и реакций на

сообщения в гражданско-правовых отношениях. В частности, важно выяснить, могут ли они быть признаны юридически значимыми средствами акцепта. В условиях преобладания электронных коммуникаций необходимо определить, могут ли графические символы в переписке служить доказательством намерения стороны принять условия оферты и заключить договор. Анализ данного вопроса требует обращения к теории гражданского права, исследования судебной практики и учёта специфики цифровой среды.

Практика договорного права является ключевой для гражданского оборота и юридической деятельности, обеспечивая стабильность и предсказуемость в экономических отношениях. Согласно статье 438 Гражданского кодекса Российской Федерации (далее – ГК РФ), акцепт – ответ лица, которому адресована оферта, о ее принятии [1]. Эта стадия завершает согласование воли сторон и создаёт договорные обязательства.

Законодательство устанавливает ряд требований, которым должен соответствовать акцепт для признания его юридически значимым. К таким требованиям относятся полнота и безоговорочность, соблюдение установленного срока и формы акцепта (устная, письменная, конклюдентные действия, в определённых случаях – молчание), а также отражение ясных и определённых намерений акцептанта. Анализируя применение эмодзи в деловой переписке, сомнения возникают в отношении соответствия эмодзи требованиям о форме, ясности и определённости намерений.

При рассмотрении формы акцепта напрашивается вопрос о юридической квалификации эмодзи, отправленных как согласие на предложение в мессенджере. На наш взгляд, эмодзи можно отнести к конклюдентным действиям ввиду следующих признаков: они представляют собой невербальные символы; могут опосредованно выражать волю через символические изображения; к ним отсутствуют формальные требования; имеют функциональную схожесть с жестами и мимикой. С другой стороны, подобные действия неоднозначны: к примеру, эмодзи могут быть восприняты и как альтернатива тексту, где они выступают в качестве упрощённого письменного выражения. Так, например, Воронова А. А. читает, что использование эмодзи, как и текстовых сообщений в переписке, можно отнести к письменной форме акцепта, поскольку первые являются условными обозначениями, и препятствия для их применения в этой роли отсутствуют [2, с. 229].

Использование эмодзи для подтверждения согласия несёт риск неопределённости их значений. Трудности в интерпретации возникают из-за отсутствия установленной расшифровки этих символов и вариативности значения эмодзи, зависящей от возраста, культуры, религиозных убеждений пользователей. Они могут отображаться по-разному на различных устройствах и иногда используются без особого смысла, просто как вежливый жест. Эта неопределённость усложняет понимание намерений отправителя, что может привести к неверному толкованию и поставить под сомнение юридическую силу соглашений, подчёркивая необходимость повышения надёжности использования эмодзи в правовой среде.

В отечественной судебной практике вопросы использования эмодзи в деловой переписке стали актуальны с первого спора в 2022 году, когда эмодзи признали средством акцепта. Данный спор отражён в решении Арбитражного суда Краснодарского края по делу № А32-36944/2022 [3], в дальнейшем подтверждённом 15-м Арбитражным апелляционным судом [4]. Основанием для разбирательства послужил договор купли-продажи торгового киоска между истцом и ответчиком, поставка которого не состоялась из-за разногласий по цвету киоска. В ходе рассмотрения дела суд уделил внимание обмену сообщениями в приложении WhatsApp, где было установлено, что ответчик выразил своё согласие с условием, отправив эмодзи «большой палец вверх». Судья интерпретировал этот символ как знак согласия, и попытки ответчика оспорить решение не привели к иному логичному толкованию. Данное дело открыло новые перспективы для цифровых коммуникаций.

Количество подобных споров увеличивается. При этом, учитывая схожие обстоятельства, решения судов на данный счёт различаются. Так, например, в Гурьевском районном суде Калининградской области по делу № 2-129/2024 суд не признал единичное использование эмодзи «большой палец вверх» признаком согласия на сделку. Суд указал на недостаточность данного символа для подтверждения принятия предложения, установив, что фактическое соглашение между сторонами не было достигнуто [5].

Оба дела подчёркивают неопределённость в судебной практике относительно статуса эмодзи как акцепта. Проблема усугубляется тем, что окончательная интерпретация зависит от судей, и их субъективный подход может приводить к различным исходам. Отсутствие единого стандарта делает результаты споров непредсказуемыми и подверженными субъективным факторам, что создаёт сложности в правоприменении и приводит к нестабильности судебной практики.

Хотя в российской практике случаи акцепта договоров посредством эмодзи только зарождаются, за рубежом этот вопрос уже активно обсуждается. В США эмодзи используются в качестве косвенных доказательств: с 2004 по 2019 год они появились в 171 судебном деле, согласно исследованию Эрика Голдмана [6]. В Китае с 2017 по 2022 год зарегистрировано 158 дел, где эмодзи и другие онлайн-выражения признаны доказательствами. К примеру, суд Шэньчжэна рассмотрел сообщение с изображением эмодзи солнца как подтверждение продления арендного договора [7]. Это свидетельствует о том, что эмодзи уже находят свое признание в международной юридической практике как инструмент для выявления намерений сторон.

В официальной переписке в мессенджерах всё чаще используются реакции на сообщения – миниатюрные графические элементы, прикрепляемые к определённому сообщению собеседника. Однако российские судебные инстанции ещё не рассматривали дела, в которых реакции были бы основным аргументом, в отличие от эмодзи. В своём исследовании Стонт А. О. [8, с. 153] и авторы научного труда Андриевская А. Н. и Косторнов Д. А. [9, с. 110] затрагивают тему восприятия реакций как признака согласия в деловой переписке и

задаются вопросом о допустимости применения существующей судебной практики и выводов по эмодзи и к реакциям, учитывая их внешнюю схожесть, а также в контексте отсутствия аналогичных случаев применительно к реакциям в российской судебной системе. Хотя реакции и напоминают эмодзи, они имеют ключевые различия, влияющие на их юридическую значимость. В отличие от эмодзи, которые могут быть использованы более свободно и не всегда связаны с конкретным утверждением, реакции, будучи привязанными к определённым текстам, позволяют более точно определить намерения собеседника. Такая привязка может быть как преимуществом, так и недостатком. С одной стороны, она может усилить понятность стремлений, уменьшая пространство для интерпретаций. С другой стороны, реакция к сообщению, содержащему несколько предложений или пунктов, может вызвать неопределённость относительно того, к какому именно из них относится выраженное отношение. Кроме того, существует проблема интерпретации самих символов реакций, их многозначность в зависимости от платформы и отсутствие общепринятого стандарта их использования, что также снижает надёжность реакций как юридически значимого способа выражения согласия.

Сложно не согласиться с Клименко А. И., который подчёркивает, что в договорных отношениях возникают проблемы из-за использования Интернета [10, с. 130]. Из исследования видно, что эмодзи и реакции в деловой среде приводят к ряду затруднений. Тем не менее в судебной практике уже есть примеры, когда эмодзи рассматривались как подтверждение согласия, что свидетельствует о том, что эмодзи, а также теоретически и реакции, могут быть формой выражения воли. Представляется, что на данном этапе внесение изменений в законодательство по вопросу их интерпретации может быть преждевременным. Более целесообразным решением является использование диспозитивного подхода, основанного на принципе свободы договора (статья 421 ГК РФ) [1]. Стороны, активно использующие мессенджеры в деловой переписке, могут самостоятельно предусмотреть в договоре условия о признании эмодзи и реакций в качестве формы выражения воли. В частности, они могут установить, какие конкретно эмодзи будут считаться акцептом, и зафиксировать их значение аналогично тому, как это делается в отношении электронной переписки. Такой подход позволит минимизировать риски, связанные с различной интерпретацией символов, и обеспечить защиту прав всех участников договорных отношений.

В заключение: в эпоху цифровизации правовая система должна быстро адаптироваться к новым условиям, учитывая технологические инновации. Эмодзи и реакции стали частью повседневности, и право должно формировать практику, устанавливая рамки для их правоприменения. Это важно для эффективного и справедливого регулирования в быстро меняющемся цифровом мире.

Список источников

1. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) : Федеральный закон от 30.11.1994 № 51-ФЗ : (ред. от 08.08.2024) // Собрание законодательства РФ. 1994. № 32. С. 3301.
2. Воронова А. А. Роль эмодзи в частном праве // Сборник материалов Всероссийской студенческой научно-практической конференции «Молодёжная наука». Иркутск, 2024. С. 225–233.
3. Решение Арбитражного суда Краснодарского края от 20.04.2023 по делу № А32-36944/2022 // Гарант. URL: <https://base.garant.ru/65722524/> (дата обращения: 25.03.2025).
4. Постановление Пятнадцатого арбитражного апелляционного суда от 29.06.2023 № 15АП-8889/23 по делу № А32-36944/2022 // Гарант. URL: <https://base.garant.ru/65722524/> (дата обращения: 25.03.2025).
5. Решение Гурьевского районного суда Калининградской области от 09.01.2024 по делу № 2-129/2024 // Гарант. URL: <https://base.garant.ru> (дата обращения: 26.03.2025).
6. Кондратьева И. Веселые картинки: смайлики и эмодзи проникли в судебные решения // Право.ру. URL: <https://pravo.ru/story/209274/> (дата обращения: 24.03.2025).
7. Яшина В. Эмодзи в суде: плюсы, минусы и примеры из практики // Право.ру. URL: <https://pravo.ru/story/242042/> (дата обращения: 24.03.2025).
8. Стонт А. О. Заключение договоров и направление юридически значимых сообщений гражданско-правового характера с помощью эмодзи и стикеров в мессенджере // Вестник Хакасского государственного университета им. Н. Ф. Катанова. 2024. № 3 (49). С. 150–155.
9. Андриевская А. Н., Косторнов Д. А. Правовые условия признания акцептом эмодзи при переписке в мессенджере // Юридическая наука. 2023. № 12. С. 109–111.
10. Клименко А. И. Правовые проблемы заключения и исполнения договоров, заключаемых через интернет // Национальная ассоциация ученых. 2015. № 5-3 (10). С. 130–133.

References

1. The Civil Code of the Russian Federation (Part one) : Federal Law No. 51-FZ of 11/30/1994 : (as amended on 08/08/2024). *Sobranie zakonodatel'stva RF*. [Collection of Legislation of the Russian Federation]. 1994, No. 32, p. 3301.
2. Voronova A. A. The role of emojis in private law. *Sbornik materialov Vserossiiskoi studencheskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Molodezhnaia nauka»*. [Collection of materials of the All-Russian student scientific and practical conference «Youth Science»]. Irkutsk, 2024, pp. 225-233.

3. Reshenie Arbitrazhnogo suda Krasnodarskogo kraia ot 20.04.2023 po delu № A32-36944/2022 // Garant. [The decision of the Arbitration Court of the Krasnodar Territory dated 04/20/2023 in case no. A32-36944/2022 // Garant]. Available at: <https://base.garant.ru/65722524/> (Accessed 25 March 2025) (in Russian)

4. Postanovlenie Piatnadtsatogo arbitrazhnogo apeliatsionnogo suda ot 29.06.2023 № 15AP-8889/23 po delu № A32-36944/2022 // Garant. [Resolution of the Fifteenth Arbitration Court of Appeal dated 06/29/2023 No. 15AP-8889/23 in case No. A32-36944/2022 // Garant]. Available at: <https://base.garant.ru/65722524/> (Accessed 25 March 2025) (in Russian)

5. Reshenie Gur'evskogo raionnogo suda Kaliningradskoi oblasti ot 09.01.2024 po delu № 2-129/2024 // Garant. [The decision of the Guryevsky District Court of the Kaliningrad region dated 09.01.2024 in case no. 2-129/2024 // Garant]. Available at: <https://base.garant.ru> (Accessed 26 March 2025) (in Russian)

6. Kondrat'eva I. Veselye kartinki: smailiki i emodzi pronikli v sudebnye resheniia // Pravo.ru. [Kondratieva I. Funny pictures: emoticons and emojis have penetrated court decisions // Pravo.ru]. Available at: <https://pravo.ru/story/209274/> (Accessed 24 March 2025) (in Russian)

7. Iashina V. Emodzi v sude: pliusy, minusy i primery iz praktiki // Pravo.ru. [Yashina V. Emoji in court: pros, cons and practical examples // Pravo.ru]. Available at: <https://pravo.ru/story/242042/> (Accessed 24 March 2025) (in Russian)

8. Stont A. O. Conclusion of contracts and sending legally significant messages of a civil nature using emojis and stickers in a messenger // *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. F. Katanova*. [Bulletin of N. F. Katanov Khakass State University]. 2024, No. 3 (49), pp. 150-155.

9. Andrievskaia A. N., Kostornov D. A. The legal conditions for recognizing emoji acceptance during correspondence in the messenger // *Iuridicheskaya nauka* [Legal Science]. 2023, No. 12, pp. 109-111.

10. Klimenko A. I. Legal problems of concluding and executing contracts concluded via the Internet // *Natsional'naya assotsiatsiya uchenykh*. [National Association of Scientists]. 2015, No. 5-3 (10), pp. 130-133.

**Бизнес-трансформация:
управление улучшениями**
Студенческий научный журнал
№ 3 (12) 2025 г.
Бесплатно
16+

Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.
Регистрационный номер и дата принятия решения о регистрации:
серия Эл № ФС77-84580 от 16 января 2023 г.

Дата выхода в свет 31.10.2025
Формат 60x84 1/8. Гарнитура Times New Roman.

Адрес учредителя, издателя и редакции:
628012, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра,
г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, д. 16

Главный редактор – Лебедева Илона Дмитриевна
Тел. +7 (3467) 377-000 (доб. 449)

Россия, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, д. 16.
E-mail: snojournal@mail.ru
<https://snojournal-ugrasu.ru/>