

УДК 681.5

EDN [NZSUUI](#)

Исследование проблем в области электроснабжения железнодорожного транспорта Красноярской железной дороги

К.Д. Рубцов^{1*} В.В. Лосев²

¹Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», ул. Академгородок, 50, Красноярск, 660036, Россия

²Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, пр. Красноярский рабочий, 31, Красноярск, 660037, Россия

*E-mail: kirill.rubtsov.2001@mail.ru

Аннотация. В данной научной работе исследуется проблема электроснабжения железнодорожного транспорта на примере Красноярской железной дороги. В ходе проведения анализа дана оценка текущему состоянию системы электроснабжения, выявляются основные проблемы электроснабжения. Авторами статьи рассматриваются возможные пути решения данных проблем, включая модернизацию оборудования, применения альтернативных источников энергии и искусственного интеллекта. В результате проведенного анализа делается вывод о необходимости комплексного подхода к решению проблем электроснабжения железнодорожного транспорта на Красноярской железной дороге. Реализация предложенных мер повысит надёжность и эффективность системы электроснабжения, что будет способствовать развитию железнодорожной инфраструктуры региона и улучшению качества предоставляемых услуг.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, электроснабжение, надёжность работы, модернизация, Красноярская железная дорога.

Research of problems in the field of electric power supply of railway transport of the Krasnoyarsk Railway

K.D. Rubtsov^{1*} V.V. Losev²

¹Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Akademgorodok str., 50, Krasnoyarsk, 660036, Russia

²Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, 31 Krasnoyarsk Worker Ave., Krasnoyarsk, 660037, Russia

*E-mail: kirill.rubtsov.2001@mail.ru

Abstract. In this scientific work, the problem of power supply of railway transport is investigated using the example of the Krasnoyarsk railway. During the analysis, an assessment of the current state of the power supply system is given, the main problems of power supply are identified. The authors of the article consider possible solutions to these problems, including equipment modernization, the use of alternative energy sources and artificial intelligence. As a result of the analysis, it is concluded that there is a need for an integrated approach to solving the problems of power supply of railway transport on the Krasnoyarsk railway. The implementation of the proposed measures will increase the reliability and efficiency of the power supply system, which will contribute to the development of the railway infrastructure of the region and improve the quality of services provided.

Keywords: railway transport, power supply, reliability of operation, modernization, Krasnoyarsk railway.

1. Введение

Красноярская железная дорога проходит через 4 региона Российской Федерации: Красноярский край, Республику Хакасию, Кемеровскую и Иркутскую области. Длина дороги составляет 3158 км. На ней трудятся 26 073 сотрудника. В первом полугодии 2024 года было перевезено 832,8 тыс. пассажиров в дальнем сообщении и 2,8 млн. пассажиров в пригородном сообщении. Грузовые перевозки на первое полугодии составили 41,3 млн. т, среди которых основной погрузкой являются уголь (29 млн. т), нефть (3,1 млн. т) и строительные грузы (893,4 тыс. т). Магистраль является главной транспортной линией для Красноярского края и Республики Хакасии, по ней идёт основной поток грузов (более 80% всей продукции и сырья) [1].

Крупнейшей пассажирской станцией дороги является Красноярск, сортировочной – Красноярск-Восточный. Всего на Красноярской железной дороге 180 станций. Общее количество платформ для посадки и высадки пассажиров – 668.

В связи с увеличением грузооборота и пассажирооборота на Красноярской железной дороге происходит модернизация оборудования, происходит строительство новых линий электропередач и оптимизация распределения нагрузки.

2. Постановка задачи (Цель исследования)

Целью данного исследования является анализ состояния железнодорожной инфраструктуры Красноярской железной дороги в области электроснабжения. Конкретные задачи исследования включают [2-7]:

- Изучение текущего состояния и уровня износа оборудования системы электроснабжения.
- Анализ эффективности работы систем управления и контроля электроснабжения.
- Оценка соответствия существующих мощностей потребностям железнодорожной инфраструктуры.
- Выявление проблемы участков и определение необходимости модернизации или замены оборудования.
- Разработка рекомендаций по улучшению системы электроснабжения с учётом перспектив развития железнодорожной сети.
- Оценка целесообразности предлагаемых мероприятий и выбор оптимальных решений.

3. Методы и материалы исследования

Для анализа состояния железнодорожной инфраструктуры в области электроснабжения на рисунке 1 изображена схема Красноярской железной дороги.

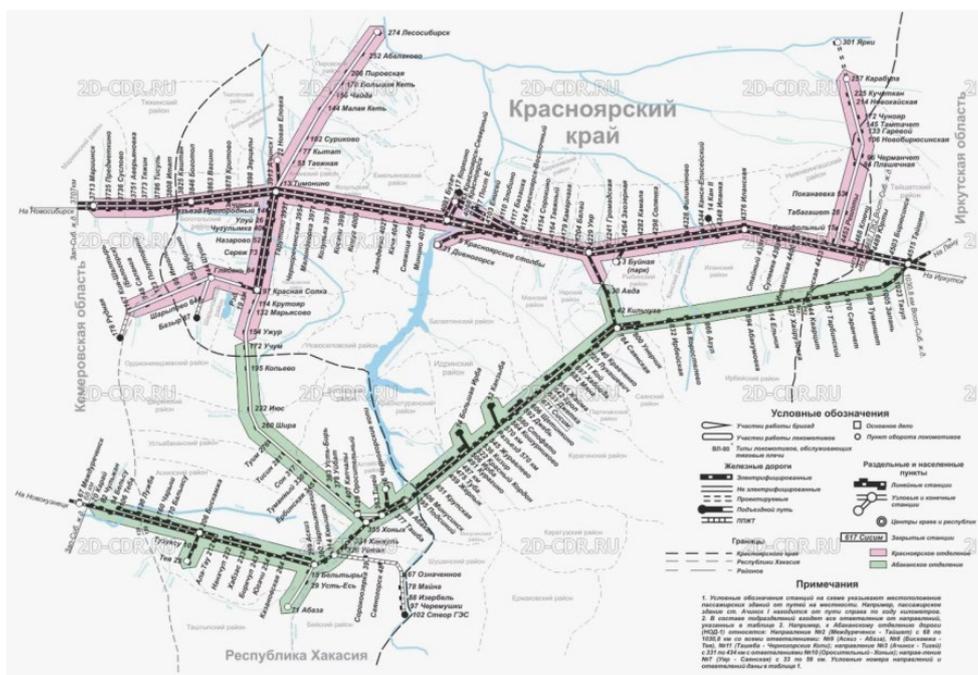


Рисунок 1. Схема Красноярской железной дороги.

Рассматривая техническую документацию, авторами статьи были выделены следующие проблемы в области электроснабжения железнодорожного транспорта [8-10]:

- 40% устройств электроснабжения превышают нормативные сроки эксплуатации, что требует их обновления.
- Повышенные требования к скоростям и весовым нормам поездов, что также влияет на состояние оборудования.
- Сложности в выделении длительных «окон» для проведения работ, особенно в летнее время из-за увеличения потока поездов и путевых работ.
- Необходимость внедрения современных технологий и систем управления для повышения эффективности работы и снижения затрат на обслуживание.
- Проблемы с качеством электроэнергии, которые могут привести к сбоям в работе оборудования и нарушению безопасности движения поездов.
- Необходимость развития альтернативных источников энергии (например, солнечная и ветровая энергетика) для снижения зависимости от традиционных источников.
- Повышение требований к экологической безопасности и снижению воздействия на окружающую среду при проведении работ по обслуживанию и ремонту оборудования.
- Проблема электромагнитной совместимости (ЭМС) в области электроснабжения железнодорожного транспорта.
- Высокий износ оборудования и инфраструктуры сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ).

4. Полученные результаты

Согласно проблемам, которые выявлены на Красноярской железной дороге в области электроснабжения, авторами статьи предложены возможные пути решения, имеющие исследовательский потенциал (таблица 1).

Таблица 1. Проблематизация предметной области «Электроснабжение на Красноярской железной дороге» и постановка задач исследовательской деятельности.

Проблема	Постановка исследовательской задачи
1. Влияние блуждающих токов на коррозию подземных сооружений	Размещение подземных сооружений как можно дальше от электрифицированных железных дорог; Выбирать трассы с высоким электрическим сопротивлением грунта; Применять изолирующие покрытия и изолирующие канализации; Отделять их изолирующими вставками и муфтами

2. Повышение напряжения передачи электрической энергии (ЭЭ)	Использование высоковольтных линий; Применение современных технологий; Разработка новых типов электрооборудования; Интеграция с другими видами транспорта; Оптимизация маршрутов; Развитие инфраструктуры; Мониторинг и контроль
3. Применение энергоёмких накопителей энергии	Оптимизация параметров; Разработка новых технологий; Мониторинг и контроль; Выбор типа накопителя; Интеграция с другими системами; Выбор типа полупроводникового элемента
4. Применение современных преобразовательных технологий и безмасленного коммутационного оборудования	Оптимизация параметров; Интеграция с другими системами; Разработка новых технологий; Мониторинг и контроль
5. Обеспечение качества электроэнергии и оптимизация потребления реактивной мощности (РМ) в системах электроснабжения	Проведение точного технико-экономического анализа и компенсации реактивной мощности в сети (мониторинг параметров качества электроэнергии, установку КУ)
6. Разработка и внедрение передвижных модульных источников энергообеспечения для удалённых и труднодоступных регионов	Разработка и внедрение передвижных модульных источников энергообеспечения, (солнечные панели, ветрогенераторы, дизельные генераторы и другие технологии возобновляемой энергетики)
7. Разработка и внедрение автономных систем энергообеспечения	Использование контейнерных электростанций; Аварийное энергоснабжение сортировочных горок; Автономное энергообеспечение при ремонте и модернизации пути
8. Электромагнитные влияния на линиях автоблокировки (АБ)	Использование экранированных кабелей и устройств; Применение фильтров и стабилизаторов напряжения; Установка защитных устройств; Регулярное техническое обслуживание и проверка оборудования; Проектирование системы с учётом электромагнитной совместимости
9. Возникновение ёмкостного напряжения на металлических опорах	Установка дугогасящих реакторов для компенсации ёмкостного тока и предотвращения феррорезонансных процессов; Использование защитных резисторов для ограничения тока в цепи заземляющих выводов трансформаторов напряжения; Транспозиция фаз для уменьшения несимметрии ёмкостей фаз относительно земли и предотвращения смещения нейтрали; Применение автоматических устройств для подстройки дугогасящих реакторов в резонанс с ёмкостью сети и снижения перенапряжений при дуговых замыканиях на землю
10. Внедрение современных технологий накопления электроэнергии сгенерированной электроподвижным составом (ЭПС) для обеспечения минимального межпоездного интервала	Использование накопителей энергии; Применением систем рекуперативного торможения; Интеграция солнечных панелей и ветрогенераторов; строительство новых тяговых подстанций
11. Масштабное введение средств технического диагностирования в электроэнергетике	Использование машинного обучения и ИИ для автоматического анализа данных и прогнозирования состояния оборудования
12. Использование технических решений в области сверхпроводимости и водородной энергетике	Использование водородного топлива в зелёной экономике; развитие водородной энергетики

13. Подавление синфазных токов для тяговой системы железнодорожного транспорта	Интеллектуальная автоматическая система управления с использованием вольтодобавочного трансформатора и искусственной вейвлет-нейронной сети для автоматического регулирования режимов функционирования системы
14. Применение регулируемых установок компенсации РМ в системе тягового электроснабжения (СТЭ)	Применение графических методов моделирования; Использование регулируемых установок компенсации РМ; установка ФКУ для снижения гармоник
15. Применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ)	Использование солнечных панелей, ветрогенераторов; Разработка специализированного оборудования для сбора, хранения и использования ВИЭ
16. Применение Smart-grid и искусственного интеллекта в электроснабжении	Разработка многоуровневой модели управления перевозочным процессом в режиме реального времени
17. Повышение качества электроснабжения устройств СЦБ	Разработка математических моделей систем электроснабжения устройств СЦБ; Исследование и разработка методов улучшения характеристик систем электроснабжения на основе новых технических решений
18. Исследование электромагнитной обстановки на участках обновления Красноярской железной дороги	Использование метода конечных элементов для анализа параметров электромагнитного поля; Обработка экспериментальных данных в режиме реального времени с помощью приборов
19. Внедрение альтернативных источников ЭЭ в энергетический комплекс КрасЖД	Гидроэнергетика; Биоэнергетика; Геотермальная энергетика; Развитие электротранспорта и зарядной инфраструктуры
20. Исследование компенсации РМ на электровозе	Использование конденсаторных батарей; Применение синхронных компенсаторов; Разработка системы управления реактивной мощностью

Согласно таблице 1, в которой приведена проблематизация предметной области и сформулированы задачи исследовательской деятельности, явно выражены технологические проблемы, связанные с техническим состоянием оборудования, внедрением новых технологий (например, с применением высоких технологий, построением моделей, искусственного интеллекта, машинного обучения, интернета вещей). К примеру, использование интернета вещей и машинного обучения позволит собирать данные о состоянии оборудования и оптимизировать процессы, связанные с технологическим обслуживанием и ремонтом. Построение моделей на основе этих данных поможет прогнозировать возможные сбои и предотвращать их. Искусственный интеллект может быть использован для автоматизации процессов управления и принятия решений, что повысит эффективность работы компании в области электроэнергетики [11].

Также при исследовании проблем в области электроснабжения железнодорожного транспорта Красноярской железной дороги с точки зрения критериев устойчивого развития можно включить следующие аспекты:

- Полное и надёжное энергетическое обеспечение перевозочного процесса, снижение рисков и предотвращение кризисных ситуаций в энергообеспечении железнодорожного транспорта Красноярского региона.
- Значительное снижение удельного расхода топливно-энергетических ресурсов в сферах деятельности ОАО «РЖД».
- Оптимизация энергетических затрат в стационарной энергетике.
- Совершенствование структуры управления энергетическим комплексом АО «РЖД» на основе современных информационных технологий (описаны выше).
- Минимизация техногенного влияния железнодорожной энергетики на окружающую среду.

Следовательно, ключевые энергосберегающие технические решения и разработки, направленные на перспективу, включают создание нового поколения энергетически эффективного оборудования, замещение дизельного топлива сжиженным и сжатым природным газом, повышение напряжения передачи энергии к электроподвижному составу (ЭПС), использование энергоёмких накопителей энергии, применение высоких технологий и другие инновации, которые будут эффективно использоваться в области электроснабжения.

5. Выводы

Красноярская железная дорога уделяет особое внимание повышению энергоэффективности своей деятельности, внедряя инновационные технологии и обновляя активы. В результате проведённого исследования можно сделать следующие выводы:

- Главные задачи в области электроснабжения железнодорожного транспорта включают надёжное обеспечение перевозочного процесса, снижение удельного расхода топливно-энергетических ресурсов, оптимизацию энергетических затрат и минимизацию техногенного влияния на окружающую среду.
- Ключевые энергосберегающие технические решения должны быть ориентированы на создание нового поколения подвижного состава, замещение

дизельного топлива сжиженным и сжатым природным газом, повышение напряжения передачи энергии и использование энергоёмких накопителей.

- Для обеспечения энергобезопасности инфраструктуры необходимо резервировать энергетические сети, создавать передвижные модульные источники энергообеспечения и собственные железнодорожные транспортные системы.
- Применение современных технологий (искусственный интеллект, машинное обучение, интернет вещей) может значительно повысить энергоэффективность и безопасность железнодорожного транспорта. При применении данных технологий системы могут анализировать данные о потреблении энергии и предсказывать будущие потребности, что позволяет оптимизировать распределение ресурсов; обрабатывать данные с датчиков, установленные на поездах или оборудовании, для предсказания возможных неисправностях и необходимости технического обслуживания, что позволяет снизить время простоя и увеличить эффективность. Также при внедрении автоматизированных систем управления энергопотреблением можно более эффективно распределять ресурсы и быстро реагировать на изменения в спросе. А создание компьютерных моделей для симуляции различных сценариев использования энергии позволит выявить наиболее эффективные стратегии управления ресурсами.

Список литературы

1. Итоги I полугодия // Дорога в цифрах URL: <https://kras.rzd.ru/ru/3086/page/103290?id=20560#main-header> (дата обращения: 07.10.2024).
2. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ В «ОАО» РЖД // Международный студенческий научный вестник URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=21121> (дата обращения: 07.10.2024).
3. Studfile // 5.4. Критерии устойчивого развития URL: <https://studfile.net/preview/8929062/page:65/> (дата обращения: 07.10.2024).
4. Электроснабжение железных дорог: Межвузовский тематический сборник научных трудов: Научное издание / Под редакцией О. А. Сидорова; Министерство транспорта Российской Федерации, Федеральное агентство железнодорожного транспорта,

- Омский государственный университет путей сообщения. – Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2016. – 71 с. – ISBN 978-5-94941-130-8. – EDN VIPHEJ.
5. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), 7-е издание, М.2022.
 6. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Утверждены приказом Минтруда России от 24.07.2013 № 328н, (зарегистрировано Министерством юстиции Российской Федерации 12.13.2013г., регистрационный № 30593).
 7. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ ЭП). Утверждены Приказом Минэнерго России от 13.01.2003 № 6.
 8. Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках. Утверждена Приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 261.
 9. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Утверждены Приказом Минтранса России от 21 декабря 2010 г. № 286.
 10. ГОСТ Р 59853-2021 Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения.
 11. СП 77.13330.201 Свод правил. Системы автоматизации.