

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ, ТЯГА ПОЕЗДОВ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ

УДК 629.4.023.5:621.3.013 + 06

Н. В. Гребенников, А. А. Зарифьян

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНЫХ ЛОКОМОТИВОВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ МОЩНОСТИ

Аннотация. В статье рассматриваются научные основы повышения энергетической эффективности автономных локомотивов с электрической передачей мощности. Особое внимание уделено внедрению современных технологий, таких как адаптивная (раздельная) работа дизель-генераторных установок и применение унифицированной структуры тягово-энергетической системы (ТЭС). Предложена унифицированная структура ТЭС, включающая различные источники энергии и накопители, что позволяет повысить общую эффективность работы автономных локомотивов.

Ключевые слова: автономные локомотивы, энергетическая эффективность, дизель-генераторная установка, адаптивная работа, унифицированная структура, тягово-энергетическая система, гибкие системы управления.

Для цитирования: Гребенников, Н. В. Научные основы повышения энергетической эффективности автономных локомотивов с электрической передачей мощности / Н. В. Гребенников, А. А. Зарифьян // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 3. – С. 49–53.

Введение

Современные тенденции в транспортной отрасли требуют повышения энергоэффективности, что особо актуально для железнодорожного транспорта. Автономные локомотивы с электрической передачей мощности являются важной частью транспортной системы, и их энергетическая эффективность напрямую влияет на затраты на эксплуатацию и экосистему в целом. Снижение энергопотребления, повышение тяговых характеристик и надежности работы автономных локомотивов становятся первостепенными задачами, которые могут быть решены за счет применения новых технических решений и технологий.

Актуальность

Автономные локомотивы, используемые на железнодорожных линиях, потребляют значительное количество топлива. По данным ОАО «РЖД», энергозатраты на перевозки составляют около 40 % всех эксплуатационных затрат [1, 2]. Это определяет важность повышения эффективности использования тягового и вспомогательного оборудования локомотивов.

Основные исследования, направленные на повышение энергетической эффективности автономных локомотивов, заключаются в:

- разработке методов повышения эффективности работы автономных локомотивов на основе конструктивных решений и интеллектуальных систем управления;
- разработке компьютерных моделей для оценки и анализа энергетической эффективности локомотивов;

- проведении экспериментальных исследований режимов работы локомотивов в условиях реальной эксплуатации.

Современные методы повышения энергоэффективности

Для повышения эффективности автономных локомотивов используются несколько передовых технологий [3, 4]. В первую очередь, это гибридные силовые установки и многодизельные агрегаты, которые позволяют оптимизировать энергопотребление в зависимости от нагрузки. Применение таких систем способствует более эффективному использованию энергоресурсов в режиме эксплуатации, особенно на маневровых локомотивах, где частые изменения нагрузки приводят к существенным отклонениям от номинальных режимов работы локомотивов [5].

Одним из примеров является применение гибридных систем, где дизельная установка дополняется накопителями энергии торможения. Это позволяет повторно использовать энергию, которая иначе бы терялась в процессе торможения. В результате сокращается общий расход топлива на 10–15%, особенно при частом старте и остановке на маневровых работах.

Системы управления на основе искусственного интеллекта позволяют адаптировать работу локомотива к различным условиям эксплуатации. Такие системы могут автоматически выбирать оптимальные режимы работы тягового оборудования, снижая потребление топлива и повышая эффективность работы локомотива. Например, система может отключать часть оборудования в условиях минимальной нагрузки, что существенно снижает расход энергии в простое.

Адаптивная (раздельная) работа дизель-генераторных установок (ДГУ) позволяет гибко управлять мощностью в зависимости от нагрузки, что особенно эффективно при работе на участках с переменными требованиями к тяге (сложный профиль пути или однонаправленность грузового потока). В данном подходе локомотивы, оснащенные несколькими ДГУ (в том числе многосекционные локомотивы с одним дизелем на секцию), могут включать или отключать отдельные ДГУ или секции локомотива в зависимости от текущей нагрузки. Локомотив с двумя дизельными секциями может работать только на одной из них при движении на низкой скорости или при малой нагрузке. Как только возрастает необходимость в тяговой мощности (например, при движении по сложному профилю пути или при трогании с тяжелым поездом), автоматически подключается вторая секция. Это позволяет избежать перерасхода топлива при работе на неполной мощности, снижая потери и улучшая общую эффективность работы локомотива. Исследования показали, что такая адаптивная работа ДГУ позволяет сократить расход топлива до 20%, что также способствует снижению выбросов углекислого газа.

Современная концепция унифицированной структуры тягово-энергетической системы (ТЭС) [6] автономных локомотивов представлена на рисунке 1 и основана на модульности и гибкости.

Основная идея – создание единой платформы, тяговый привод которой, может питаться от различных источников энергии, включая дизельные двигатели, газотурбинные установки (ГТУ), водородные топливные элементы (ВТЭ) и накопители энергии (НЭ). Центральным элементом такой системы является звено постоянного напряжения (ЗПН), которое объединяет все элементы ТЭС. Такой подход позволяет постепенно совершенствовать технологии применения альтернативных видов источников энергии и обеспечивает преемственность накопленного опыта в области построения систем управления тяговым приводом и автономным локомотивом, а в случае применения систем с искусственным интеллектом, позволяет получить, обобщить и обучить систему управления на основе данных, полученных за все время эксплуатации унифицированной платформы.

Разработка компьютерных моделей и моделирование

Применение метода конечных элементов (МКЭ) для тяговых расчетов позволяет учитывать профиль пути и скорость движения поезда, что критически важно для оценки

энергетической эффективности локомотива в реальных условиях эксплуатации. Моделирование помогает найти оптимальные траектории движения, при которых минимизируется расход топлива и потери энергии.

Комплексные модели, реализованные в средах MATLAB/Simulink, позволяют создать симуляции режимов работы автономных локомотивов. Например, модели могут анализировать эффективность тягового оборудования при движении поезда на сложных участках пути, где требуется максимальная тяговая мощность. Также позволяют моделировать работу систем рекуперации энергии, которая возвращает энергию торможения обратно в накопители энергии локомотива. Еще одним аспектом является применение адаптивного управления скоростью, силой тяги и торможения, что позволяет обеспечить рациональные режимы работы силового и вспомогательного оборудования локомотива.

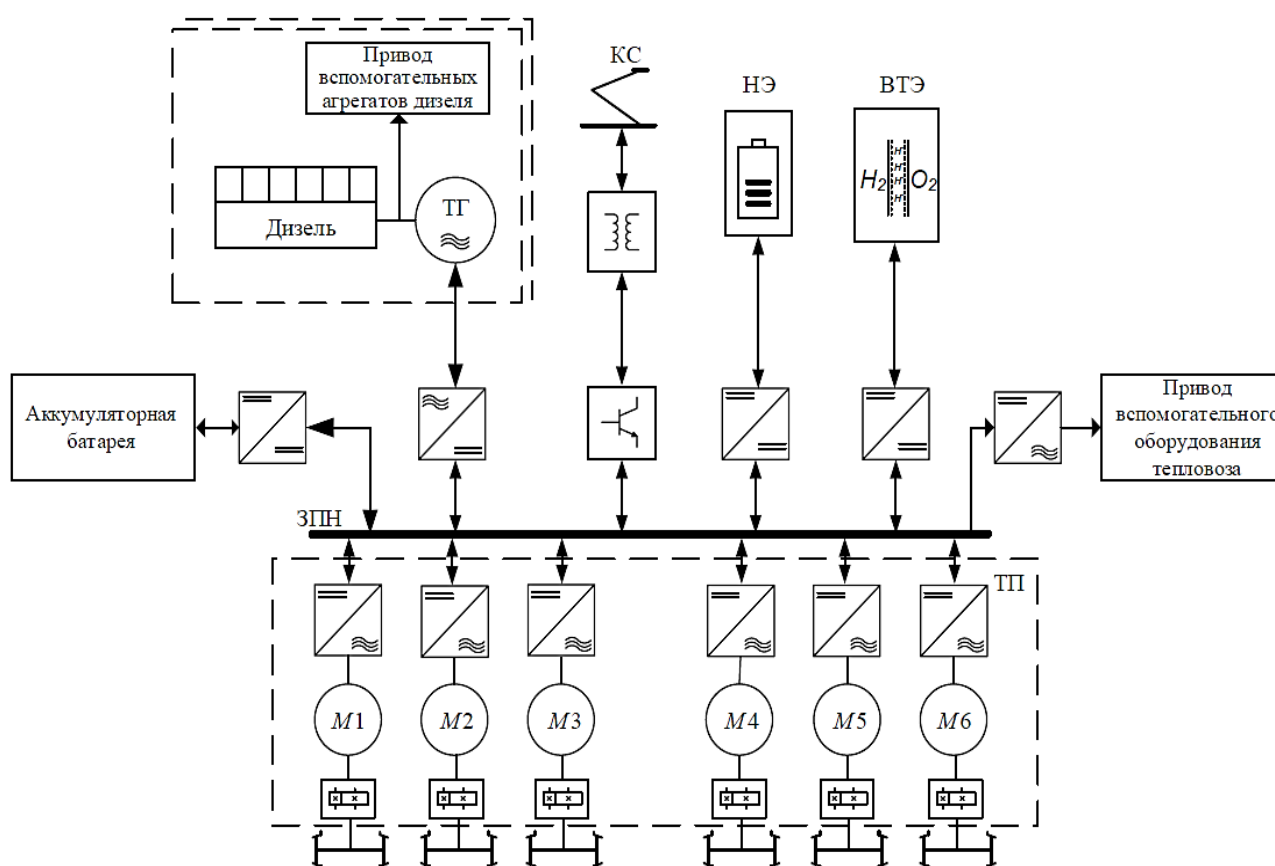


Рис. 1. Современная концепция унифицированной структуры тягово-энергетической системы

Экспериментальные исследования

Для подтверждения теоретических расчетов и компьютерного моделирования проведены экспериментальные исследования. В ходе экспериментов проанализированы такие параметры, как расход топлива, эффективность использования тягового оборудования, время работы на различных режимах и энергетическая эффективность в условиях реальной эксплуатации [1].

В одном из экспериментов был проведен анализ работы тепловоза 2ТЭ25КМ на Северо-Кавказской железной дороге. Результаты показали, что доля времени работы дизельного двигателя на холостом ходу составляла до 50 % всего времени эксплуатации, что свидетельствует о значительном потенциале для оптимизации работы двигателя.

Использование интеллектуальных систем управления может позволить автоматическое отключение двигателя во время длительных простоев или при движении на малой скорости.

При эксплуатации маневровых локомотивов, таких как ЧМЭЗ, анализ показал, что значительное количество топлива расходуется из-за неэффективного управления тягой. Применение адаптивных систем управления позволило сократить время работы двигателя на максимальной мощности и снизить общее энергопотребление на 15%.

Заключение

Повышение энергетической эффективности автономных локомотивов с электрической передачей мощности возможно за счет применения комплексного подхода, включающего модернизацию оборудования, внедрение интеллектуальных систем управления и использование унифицированных платформ. Экспериментальные данные подтверждают, что такие меры позволяют существенно сократить расход топлива, уменьшить выбросы вредных веществ и повысить надежность эксплуатации локомотивов. Внедрение предложенных решений обеспечит повышение эффективности транспортной системы и снижение эксплуатационных затрат.

Библиографический список

1. **Гребенников, Н. В.** Оценка энергетической эффективности локомотивов в эксплуатации / Н. В. Гребенников // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 1-2(84). – С. 118-125.
2. **Валенцева, Е. В.** К вопросу об оценке стоимости современного тягового подвижного состава на основе технико-эксплуатационных характеристик / Е. В. Валенцева, Т. З. Талахадзе, А. С. Шапшал // Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление. – 2023. – № 1(152). – С. 43-47.
3. Анализ вариантов тяговой системы маневрового контактно-аккумуляторного электровоза / А. А. Андрющенко, А. А. Зарифьян мл, Т.З. Талахадзе[и др.] // Транспорт: наука, образование, производство : сборник научных трудов, Ростов-на-Дону, 20–22 апреля 2020 года. Том 2. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 57-60.
4. Особенности проектирования контактно-аккумуляторного маневрового электровоза / П. Г. Колпахчян, А. А. Зарифьян, Т. З. Талахадзе [и др.] // Электротехника. – 2021. – № 10. – С. 15-20.
5. Анализ вариантов тяговой системы маневрового контактно-аккумуляторного электровоза / А. А. Андрющенко, А. А. Зарифьян (мл), Н. В. Романченко [и др.] // Транспорт: наука, образование, производство : сборник научных трудов, Ростов-на-Дону, 20–22 апреля 2020 года. Том 2. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 57-60.
6. **Зарифьян, А. А.** Концептуальные направления развития структуры тягово-энергетических систем локомотивов / А. А. Зарифьян, Н. В. Гребенников // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2024. – Т. 67, № 3. – С. 92-98.

N. V. Grebennikov, A. A. Zarifian

SCIENTIFIC FOUNDATIONS FOR IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF AUTONOMOUS LOCOMOTIVES WITH ELECTRIC POWER TRANSMISSION

Abstract. The article discusses the scientific foundations for improving the energy efficiency of autonomous locomotives with electric power transmission. Special

attention is given to the implementation of modern technologies, such as adaptive (separate) operation of diesel-generator units and the application of a unified traction-power system (TPS) structure. A unified TPS structure is proposed, which includes various energy sources and storage units, improving the overall efficiency of autonomous locomotives.

Keywords: autonomous locomotives, energy efficiency, diesel-generator unit, adaptive operation, unified structure, traction-power system, flexible control systems.

For citation: Grebennikov, N. V. Scientific Foundations for Improving the Energy Efficiency of Autonomous Locomotives with Electric Power Transmission / N. V. Grebennikov, A. A. Zarifian // Trudy Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobsenia. – 2024. – № 3. – P. 49–53.

Сведения об авторах

Гребенников Николай Вячеславович
Ростовский государственный
университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: grebennikovnv@mail.ru

Зарифьян Александр Александрович
Ростовский государственный
университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
доктор технических наук, профессор
e-mail: zarifian_aa@mail.ru

Information about the authors

Grebennikov Nikolay Vyachaslavovich
Rostov State Transport University (RSTU)
Chair «Traction Rolling Stock»,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: grebennikovnv@mail.ru

Zarifian Alexander Alexandrovich
Rostov State Transport University (RSTU)
Chair «Traction Rolling Stock»,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: zarifian_aa@mail.ru