

Роль альтернативной энергетики в обеспечении энергетической безопасности железнодорожной отрасли: международный аспект

The role of alternative energy in ensuring the energy security of the railway industry: international aspect

УДК 339.5

Получено: 12.06.2025

Одобрено: 18.07.2025

Опубликовано: 25.08.2025

Чарыков В.И.

Д-р техн. наук, профессор, Курганский институт железнодорожного транспорта - филиал ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», г. Курган
e-mail: viktor52-chimesh@yandex.ru

Charykov V.I.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Kurgan Institute of Railway Transport - branch of the Ural State University of Railway Engineering, Kurgan
e-mail: viktor52-chimesh@yandex.ru

Микаилов С.М.

Канд. юрид. наук, доцент, заместитель директора по научной работе, Курганский институт железнодорожного транспорта - филиал ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», г. Курган
e-mail: smm45@mail.ru

Mikailov S.M.

Candidate of Law, Associate Professor, Deputy Director for Research, Kurgan Institute of Railway Transport - branch of the Ural State Transport University, Kurgan
e-mail: smm45@mail.ru

Овчинников Д.Н.

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры механизации и электрификации сельского хозяйства, Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева – филиал ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», Курганская обл., Кетовский р-н, с. Лесниково
e-mail: odn_ksa@mail.ru

Ovchinnikov D.N.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agricultural Mechanization and Electrification, Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev, a branch of Kurgan State University, Kurgan Region, Ketovsky District, Lesnikovo Village
e-mail: odn_ksa@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена анализу влияния альтернативной энергетики на повышение энергетической безопасности железнодорожной отрасли. При этом анализируются современные технологии возобновляемых источников энергии, их интеграция в инфраструктуру железнодорожной отрасли и железнодорожного транспорта, а также перспективы снижения их зависимости от традиционных энергоносителей. Особое внимание в данном контексте уделяется солнечной, ветровой и водородной энергетике, системам рекуперации энергии, а также гибридным решениям. Делается вывод о том, что альтернативная энергетика становится важным элементом энергетической безопасности железнодорожного транспорта России.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, железнодорожный транспорт, энергетическая безопасность, возобновляемые источники энергии, рекуперация энергии, водородные технологии, экономическая эффективность.

Abstract

The article is devoted to the analysis of the impact of alternative energy on improving the energy security of the railway industry. At the same time, modern renewable energy technologies, their integration into the infrastructure of the railway industry and railway transport, as well as the prospects for reducing their dependence on traditional energy sources are analyzed. In this context, special attention is paid to solar, wind and hydrogen energy, energy recovery systems, as well as hybrid solutions. It is concluded that alternative energy is becoming an important element of the energy security of Russian railway transport.

Keywords: alternative energy, railway transport, energy security, renewable energy sources, energy recovery, hydrogen technologies, economic efficiency.

Введение

По мнению многих исследователей, транспорт является одним из самых крупных потребителей энергии, на долю которого приходится до 30% расходуемых энергоресурсов [9, с.12; 8, с.236]. При этом, железнодорожный транспорт во всем мире, в том числе и в нашей стране, является наиболее энергоэффективным видом транспорта, обеспечивающим около 8% мировых грузоперевозок и 7% пассажирских перевозок [18, с.2]. В то же время, потребление электрической энергии железнодорожной отраслью только в России составляет 4,8% от объёма её выработки в стране [12, с.18].

Однако устойчивое развитие железнодорожной отрасли сталкивается с рядом вызовов, связанных с её зависимостью от традиционных источников энергии, актами незаконного вмешательства в функционирование железнодорожного транспорта и инфраструктуры, ростом тарифов на электроэнергию и ужесточением экологических норм. Данные угрозы актуализируются с учётом проводимой специальной военной операции и связанными с ней террористическими атаками на объекты железнодорожной отрасли России.

Кроме того, согласно данным Международного союза железных дорог (UIC), на железнодорожный транспорт приходится около 3% глобальных выбросов диоксида углерода в транспортном секторе [18, с.3]. При этом декарбонизация отрасли отстает от темпов перехода на возобновляемые источники энергии в других сферах. Представляется, что внедрение альтернативной энергетики способно не только снизить углеродный след, но и повысить энергетическую независимость железных дорог.

Цель настоящего исследования состоит в проведении комплексного анализа возможностей альтернативной энергетики в обеспечении энергетической безопасности железнодорожного транспорта с оценкой экономических и экологических эффектов, а также определение её роли в данном процессе.

В методологическую базу данного исследования вошли труды Александрова И.М., Байкова Н.М., Бесчинского А.А., [10] Косарева А.Б. [13, 14] и данные статистических исследований Международного союза железных дорог (UIC) [18].

Анализу современных технологий внедрения альтернативной энергетики в деятельность железнодорожного транспорта рассмотрены в работах Абрамяна А.Э. [9], Дегтярева К.С., Залиханова А.М., Соловьева А.А., Соловьева Д.А. [12].

Особенности внедрения отдельных видов возобновляемых источников энергии в функционировании объектов железнодорожной отрасли рассматривали Белошицкий М.В. [11], Науменко С.Н. [15], Яронова Н.В., Аблаева А.А. [20].

Анализ современного состояния железнодорожного транспорта позволил установить, что существующие вызовы энергетической безопасности железнодорожной отрасли и железнодорожного транспорта лежат в трёх плоскостях:

- Во-первых, в русле зависимости от ископаемого топлива (например, около 40% железнодорожного парка в мире составляют дизельные локомотивы, а доля дизельной тяги в России составляет 30%, в США – 60%, в странах Европы – около 20%) [18, с.2].

- Во-вторых, в сфере экологических рисков, связанных, в первую очередь, с выбросами диоксида углерода и других вредных веществ. Один дизельный локомотив осуществляет выброс около 12 тонн диоксида углерода в год при среднем пробеге в 100 000 км. К примеру, в Китайской Народной Республике, где значительная часть грузоперевозок осуществляется поездами, выбросы от железнодорожного транспорта составляют примерно 8% от общего объёма транспортных выбросов; [18, с.4].

- В-третьих, от экономической нестабильности и дестабилизации мирового рынка. Например, в результате резкого роста мировых цен на дизельное топливо в 2021–2023 гг. увеличились эксплуатационные расходы железных дорог на 15–25%, а в странах Европы, где стоимость электроэнергии для железных дорог выросла на 40% после начала СВО и последствий санкционных ограничений [18, с.4].

- В-четвёртых, угрозы военного и террористического характера, особенно в условиях проведения СВО. Например, что только за один год с начала СВО было совершено 184 диверсии на объектах железнодорожного транспорта [19, с.1]. Кроме того, опыт проведения СВО показывает, что бомбардировка объектов энергетики Украины (в том числе объектов железнодорожной энергетики), в первую очередь, негативно отразилась на логистике военных перевозок в Украине, существенно снизив боеспособность ВСУ.

В результате железнодорожный транспорт вынужден был использовать альтернативные виды энергоснабжения и, в основном, перейти на тепловую тягу.

С учётом обострения перечисленных угроз, в настоящее время актуальность альтернативных вариантов обеспечения электроэнергией железнодорожной отрасли существенно возрастает.

В мировой практике накоплен определённый опыт использования возобновляемых источников энергии в сфере железнодорожной деятельности.

Например, технологии и примеры внедрения солнечной энергетики в данную деятельность имеются в Индии, где в 2017 г. был запущен первый поезд с солнечными панелями на крыше (16 вагонов, мощность 120 кВт).

В результате было подсчитано, что экономия дизельного топлива составила 21 000 литров в год на такой состав. Кроме того, в Нидерландах реализуется проект «SolarRail», предполагающий установку 50 000 м² солнечных панелей вдоль путей к концу 2025 г. Ожидаемая генерация от данных установок 10 МВт·ч/год. Расчётная эффективность данного проекта, при стоимости установки 1 МВт солнечной станции 1 млн долл., предполагает её окупаемость при тарифе 0,1 долл./кВт/ч в течение 7–10 лет.

Недостаток данного проекта, по оценке специалистов, заключается в его низком КПД (около 20%), требует больших площадей и зависит от погодных условий. Имеются успешные примеры внедрения солнечной энергетики в отечественной железнодорожной отрасли. Например, использование солнечных батарей в функционировании железнодорожных вокзалов ст. Сочи и ст. Анапа, которые «будут вырабатывать 128 кВт/ч и полностью обеспечивать энергией здание вокзалов» [9, с.12].

В ряде стран имеется также опыт использования ветровой энергетики в железнодорожной отрасли. Например, в Великобритании введение в строй ветропарка «Ecotricity» позволило обеспечить на 15% потребности сети питанием тяговых подстанций. В Германии комбинированные системы (ветер + солнце) на участке «Bremen–Hamburg» также позволили обеспечить потребности сети на 10%, снизив при этом вредные выбросы на 12%. Использование ветровой энергии выглядит перспективно с учётом её низкой себестоимости (0,03–0,05 долл./кВт/ч) [18, с.3].

В Российской Федерации успешных примеров внедрения данных технологий не отмечено, однако, по мнению ряда исследователей и специалистов, использование ветровой энергетики в железнодорожной отрасли имеет свои перспективы, учитывая разнообразие климата страны. Представляется, что потенциал внедрения данных технологий на железнодорожном транспорте велик в районах ветровых зон на побережье морей и океанов (Дальний Восток, Кольский полуостров, районы Чёрного, Каспийского, Балтийского и Белого морей), а также горных районов (Кавказ, Алтай) [13, с.20].

Как пример использования водородных технологий в обеспечении железнодорожной деятельности можно привести функционирующие в Германии поезда «Coradia iLint (Alstom)» с запасом хода 1000 км. Экономический эффект от реализации данного проекта ещё окончательно не подсчитан, но уже с уверенностью можно сказать, что данный проект имеет два очевидных преимущества перед традиционными поездами: во-первых, это нулевой выброс диоксида углерода и, во-вторых, независимость от традиционных видов энергетики. Учитывая данные преимущества, к 2030 г. в странах Европейского союза планируется ввод около 500 водородных поездов (Shift2Rail) [17, с.2]. В настоящее время в России тестируется водородный маневровый локомотив «Синара» [16, с.3], запас хода которого составляет около 500 км и о преимуществах которого мы узнаем в будущем.

Ряд авторов, исследовавших внедрение водородных технологий в деятельность железнодорожной отрасли, приходят к выводу, что данные технологии составляют текущий тренд транспортной отрасли во всём мире и имеют далеко идущие перспективы [9, с.10].

В наибольшей степени накоплен опыт рекуперации энергии в эксплуатации железнодорожного транспорта. В частности, современные электропоезда (например, Siemens Desiro ML) возвращают в сеть до 30% энергии при торможении. Подсчитано, что в метрополитенах таких мегаполисов как Лондон и Москва рекуперация экономит около 15–20% электроэнергии. При торможении поезда массой 400 тонн, движущегося со скоростью 80 км/ч, рекуперируется порядка 4 кВт/ч энергии, а при 1000 таких торможениях в год – экономия 4000 кВт/ч на вагон. По мнению ряда исследователей, получение энергии от рекуперативного торможения электропоездов и электровозов, является наиболее прорывной и наиболее возможной в российских условиях технологией для бесперебойного функционирования железнодорожного транспорта [9, с.12].

Помимо перечисленных, имеются научные разработки, предлагающие внедрение иных альтернативных технологий обеспечения энергией объектов железнодорожной отрасли. Например, таких как строительство генерирующих станций, которые будут использовать энергию, вырабатывающуюся в результате необходимости понижения давления природного газа в магистральных трубопроводах, проходящих в районах железнодорожных путей (детандер-генераторы) [13, с.21]. Или, к примеру, применение теплонасосных установок в железнодорожной отрасли. Данные установки позволяют преобразовывать получаемое тепло из природных источников (вода, грунт, воздух) или из постоянных техногенных источников в тепловую энергию. По мнению исследователей, при затратах в 1 кВт электрической мощности можно получить 3-4 кВт тепловой мощности [14, с.297; 15, с.28].

В результате проведенного исследования были установлены экономические и экологические эффекты от внедрения альтернативных технологий обеспечения энергией объектов железнодорожной отрасли. В частности, в своём исследовании Яронова Н.В., Аблаева А.А. обосновали, что «интеграция альтернативных источников энергии в инфраструктуру позволяет уменьшить углеродный след железнодорожного транспорта»

[20, с.46] и определили, что сокращение выбросов диоксида углерода при использовании солнечных панелей составляет 50-70 тонн/год на 1 состав, при использовании водородных технологий 300-400 тонн/год на 1 состав и рекуперации – 20-30 тонн/год на 1 состав.

При этом, окупаемость солнечных станций (при капитальных затратах 1-2 млн долл.) составляет 7-10 лет, ветровых станций (при капитальных затратах 1,5-3 млн долл.) составляет 8-12 лет, водородного поезда (при капитальных затратах 5-7 млн долл.) составляет 10-15 лет.

В целом, как обозначено в прогнозах международного союза железных дорог (UIC), [18, с.3] альтернативная энергетика способна обеспечить до 40% потребностей железных дорог в энергии к 2035 г.

При этом, представляется, что ключевыми направлениями развития альтернативной энергетики являются:

- гибридные системы (солнце + ветер + водород);
- массовая рекуперация энергии в метро и пригородных поездах;
- снижение стоимости водорода до 3–4 долл./кг.

Для устойчивого и форсированного перехода на данные виды технологий необходимы реализация взаимосвязанных мер, сочетающих государственные субсидии (как в странах Европейского союза и Китае), развитие инфраструктуры (заправочные станции, накопители), а также установление международных и национальных стандартов (например, для водородных поездов). Представляется, что процесс реализации данных мер должен быть направлен на решение следующих проблем на пути внедрения альтернативной энергетики в железнодорожную отрасль:

- Во-первых, это высокая стоимость разработки и внедрения (создание инфраструктуры требует значительных инвестиций).
- Во-вторых, это необходимость адаптации существующих сетей под возможности, условия и требования альтернативной энергетики (это потребует дополнительное время и ресурсы).
- В-третьих, это необходимость решения вопросов хранения и распределения.

Для Российской Федерации транспортная отрасль, которой, с учётом географического расположения и протяжённости территории страны, является стратегически важной, вопросы обеспечения энергетической безопасности железнодорожной отрасли становятся жизненно важными.

Данное обстоятельство особенно актуализируется в современных условиях, когда резкое обострение межгосударственных конфликтов и беспрецедентное санкционное давление недружественных стран детерминируют интенсивное развитие транспортной сферы, угрозы её безопасности существенно расширяются. Соответственно возрастают потребности государства в обеспечении бесперебойного функционирования железнодорожного транспорта при отсутствии (или нейтрализации) традиционных видов энергетики.

Соответственно, вопросы обеспечения энергетической безопасности железнодорожной отрасли путём внедрения в её деятельность альтернативных видов энергетики отвечает требованиям:

- Во-первых, законодательства Российской Федерации (в частности принципам Федеральный законов от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении», [3, ч.4] от 10 января 2003 г. № 17-ФЗ «О железнодорожном транспорте в РФ», [1, ст.1] от 09 февраля 2007 г. № 16-ФЗ «О транспортной безопасности» [1, ст.3] и ряда других).
- Во-вторых, Стратегии национальной безопасности РФ, [4, п.47] в части обеспечения и защиты национальных интересов Российской Федерации в транспортной сфере путём повышения уровня защищенности объектов транспортной инфраструктуры.
- В-третьих, Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации, одной из задач которой является «развитие отечественного научно-технологического потенциала, создание и освоение передовых технологий в сфере энергетики, в том числе технологий использования возобновляемых источников энергии» [5, п.29].

– В-четвёртых, Транспортной стратегии Российской Федерации, [6] которая устанавливает первоочередность безопасности и обозначает приоритетность состояния защищённости транспортных объектов.

– В-пятых, Энергетической стратегии Российской Федерации [7, ч.2] в части участия в повышении эффективности использования генерации, основанной на возобновляемых источниках энергии. Данная стратегия устанавливает, что доля альтернативных видов энергии в отечественной энергосистеме к 20235 г. должна составлять 3-5%.

Непосредственно вопросы внедрения альтернативных видов энергии в деятельность железнодорожной отрасли содержатся в Энергетической стратегии ОАО «РЖД» [8], в которой поставлены задачи по созданию собственных генерирующих мощностей энергии, расширению использования возобновляемых источников энергии и энергоэффективных технологий в стационарной теплоэнергетике, повышению эффективности рекуперации и т.п.

Таким образом, в рамках настоящей статьи был проведён анализ современного состояния применения и перспектив использования альтернативной энергетики в железнодорожной отрасли, а также её влияние на повышение энергетической безопасности железнодорожной деятельности.

В результате сделаны следующие выводы:

1. Значение альтернативной энергетики в деятельности железнодорожной отрасли существенно возрастает и отвечает требованиям государственной энергетической политики.
2. Альтернативная энергетика становится важным элементом энергетической безопасности железнодорожного транспорта России.
3. Внедрение возобновляемых источников энергии (особенно водородных технологий и систем накопления) позволит снизить зависимость от традиционного топлива, повысить эффективность и экологичность отрасли, а также способствует укреплению национальной безопасности и обороноспособности страны).
4. Для успешной реализации необходимы государственная поддержка, инвестиции и инновационные решения.

Литература

1. Абрамян А.Э. Оценка привлекательности использования альтернативных источников энергии на железнодорожном транспорте / А.Э. Абрамян, Н. В. Капустина, Еремеева А.Е. [Электронный ресурс] // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № s4. — URL: <https://esj.today/PDF/01FAVN423.pdf>.
2. Александров И.М., Байков Н.М., Бесчинский А.А. Глобальная энергетическая проблема / [И.И. Александрова, Н. М. Байков, А.А. Бесчинский и др.]; Отв. ред. И.Д. Иванов. - Москва: Мысль, 1985. - 239 с.
3. Белошицкий М.В. Выработка электроэнергии на детандер-генераторных установках [Электронный ресурс]. URL: <http://www.turbine-diesel.ru/node/4619> (дата обращения: 02.06.2025 г.).
4. Дегтярев К.С., Залиханов А.М., Соловьев, А.А., Соловьев, Д.А. К вопросу об экономике возобновляемых источников энергии // Энергия: экономика, техника, экология. 2016. №10. С. 10–20.
5. Косарев А.Б. Анализ трендов развития электрогенерации и оценка перспектив применения инновационных энергоэффективных технологий на транспорте / А. Б. Косарев [и др.] // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2018. № 3. С. 11 – 22.
6. Косарев А.Б., Ребров И.А., Науменко С.Н., Барч А.В. Научные приоритеты использования альтернативных источников энергии на железнодорожном транспорте. Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВЕСТНИК ВНИИЖТ). 2020. № 79 (5). с.293-300.
7. Науменко С.Н. Перспективы использования тепловых насосов на горочных комплексах железных дорог / С.Н. Науменко [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2012. № 4. С. 25 – 29.

8. На Сахалине испытывают первый водородный локомотив [Электронный ресурс] // Интернет-портал «Рамблер». Режим доступа: - URL: https://finance.rambler.ru/economics/50637054/?utm_content=finance_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink (дата обращения: 29.05.2025).
9. О железнодорожном транспорте в Российской Федерации: Федер. закон Рос. Федерации от 10 января 2003г. № 17-ФЗ: Принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 24 декабря 2002 г.: Одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 27 декабря 2002 г. // С3 РФ. 2003. № 2. ст. 169.
10. О транспортной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 09 февраля 2007 года № 16-ФЗ: Принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 19 января 2007 г.: Одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 2 февраля 2007 г. // С3 РФ. 2007. № 7. ст. 837.
11. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон Рос. Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 11 ноября 2009 г.: Одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 18 ноября 2009 г. // С3 РФ. 2009. № 48. ст. 5711.
12. О Стратегии национальной безопасности РФ: Указ Президента Российской Федерации от 02 июля 2021г. № 400 // С3 РФ. 2021. № 27. (часть II) ст. 5351.
13. Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 13 мая 2019г. № 216 // КонсультантПлюс: справочная правовая система: Режим доступа: -URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_324378/ (дата обращения: 28.05.2025).
14. О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р // С3 РФ. 2021. № 50, ч. 4, ст. 8613.
15. Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12.04.2025 № 908-р // КонсультантПлюс: Справочная правовая система: Режим доступа: -URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_503079 (дата обращения: 10.05.2025).
16. Об энергетической стратегии ОАО «РЖД» на период до 2010 года и на перспективу до 2030 года: распоряжение ОАО «РЖД» от 11.02.2008 № 269р // Официальный сайт ОАО «РЖД» [сайт]. // URL: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=35> (дата обращения: 02.06.2025).
17. Перспективы подвижного состава на топливных элементах [Электронный ресурс] // Интернет-портал «Zdmira». Режим доступа: - URL: <https://zdmira.com/articles/perspektivy-podvizhnogo-sostava-na-toplivnykh-elementakh> (дата обращения: 30.05.2025).
18. Прогноз по использованию возобновляемых источников энергии в железнодорожной отрасли [Электронный ресурс] // Официальный сайт Международного союза железных дорог (UIC) [сайт]. // URL: <https://uic.org/expertise-development-training/education-innovation-and-research/> (дата обращения: 26.05.2025).
19. С начала СВО в России совершены 184 диверсии на железной дороге [Электронный ресурс] // Интернет-портал «Редакция Регионы России». Режим доступа: - URL: <https://www.gosrf.ru/s-nachala-svo-v-rossii-soversheny-184-diversii-na-zheleznoj-doroge> (дата обращения: 27.05.2025).
20. Яронова Н.В., Аблаева А.А. Интеграция альтернативных источников энергии в системы сигнализации и связи на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс] // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2024. 12(129). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18981> (дата обращения: 06.06.2025).