

Научная статья

УДК 614.841

ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛОКОМОТИВНОЙ ТЯГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

✉ **Королева Людмила Анатольевна;**

Ивахнюк Григорий Константинович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.

Малыгин Игорь Геннадьевич.

Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

✉ *koroleva.l@igps.ru*

Аннотация. Среди основных направлений устойчивого развития локомотивной тяги железнодорожного транспорта важная роль принадлежит обеспечению пожарной безопасности. Цель исследования – провести оценку пожарной опасности локомотивов, работающих на различных источниках энергии, и определить перспективы развития локомотивной тяги. Пожарную безопасность локомотивов необходимо рассматривать во взаимосвязи с их другими характеристиками. Необходим системный подход, для реализации которого применен метод анализа иерархий. Обоснованы его преимущества. Представлена декомпозиция в иерархию задачи анализа перспектив развития локомотивной тяги. Приведена методика расчета. Доказана статистическая значимость полученных результатов. Сформированы критерии, дана их характеристика. Определено оптимальное количество критериев для проведения обоснованных численных сравнений. Использование метода анализа иерархий позволило выявить взаимное влияние и важность рассмотренных критериев, определить место критерия «Пожарная безопасность» в системе приоритетов развития локомотивной тяги. Проведено сравнение локомотивов, работающих на различных источниках энергии, по критерию «Пожарная безопасность». На основе построенной системы глобальных приоритетов определены перспективы развития локомотивной тяги.

Ключевые слова: устойчивое развитие, железнодорожный транспорт, локомотивы, пожарная безопасность, пожар, метод анализа иерархий, источник энергии

Для цитирования: Королева Л.А., Ивахнюк Г.К., Малыгин И.Г. Оценка пожарной опасности и перспективы развития локомотивной тяги с использованием системного подхода метода анализа иерархий // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 136–147.

Scientific article

FIRE HAZARD ASSESSMENT AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF LOCOMOTIVE TRACTION USING A SYSTEMATIC APPROACH OF THE HIERARCHY ANALYSIS METHOD

✉ **Koroleva Ludmila A.;**

Ivakhnyuk Grigoriy K.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.

Malygin Igor G. N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences, Saint-Petersburg, Russia

✉ *koroleva.l@igps.ru*

Abstract. Among the main directions of sustainable development of locomotive traction

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

of railway transport, an important role belongs to ensuring fire safety. The purpose of the study is to assess the fire hazard of locomotives operating on various energy sources and to determine the prospects for the development of locomotive traction. Fire safety of locomotives should be considered in relation to their other characteristics. A systematic approach is needed, for the implementation of which the hierarchy analysis method is used. Its advantages are proved. The decomposition into a hierarchy of the task of analyzing the prospects for the development of locomotive traction is presented. The calculation method is given. The statistical significance of the obtained results is proved. Criteria are formed, their characteristics are given. The optimal number of criteria for conducting reasonable numerical comparisons has been determined. The use of the hierarchy analysis method made it possible to identify the mutual influence and importance of the criteria considered, to determine the place of the «Fire safety» criterion in the system of priorities for the development of locomotive traction. The comparison of locomotives operating on various energy sources according to the criterion of «Fire safety» is carried out. On the basis of the constructed system of global priorities, the prospects for the development of locomotive traction are determined.

Keywords: sustainable development, railway transport, locomotives, fire safety, fire, hierarchy analysis method, energy source

For citation: Koroleva L.A., Ivakhnyuk G.K., Malygin I.G. Fire hazard assessment and prospects for the development of locomotive traction using a systematic approach of the hierarchy analysis method // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 136–147.

Введение

В настоящее время транспорт является основным средством экономического роста, международной торговли, установления взаимодействия между регионами, социального развития и т.д. [1, 2]. Зависимость общества от различных видов транспорта увеличивается. Лидирующие позиции по перевозкам грузов и пассажиров занимает железнодорожный транспорт. Учитывая значительное влияние железнодорожного транспорта на основные сферы жизни общества и страны в целом, актуальным является устойчивое развитие железнодорожной отрасли, достижение которого возможно только при комплексном решении экономических, социальных проблем и вопросов обеспечения безопасности [3–5]. Среди основных направлений устойчивого развития важная роль принадлежит обеспечению пожарной безопасности (ПБ). Высокая транспортная нагрузка, большие объемы пассажиро- и грузопотоков определяют значительные последствия пожаров [6, 7].

Важным элементом железнодорожного транспорта являются локомотивы. Реализация концепции устойчивого развития и решение вопросов о перспективах развития локомотивной тяги требует оценки ПБ и разработки мероприятий, направленных на ее повышение.

Цель исследования – провести оценку пожарной опасности локомотивов, работающих на различных источниках энергии, и определить перспективы развития локомотивной тяги.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Проведен анализ статистических данных о пожарах на локомотивах.
2. Представлена сравнительная оценка пожарной опасности локомотивов, использующих различные источники энергии.
3. Обоснованы критерии и проведена оценка перспектив развития локомотивной тяги с использованием метода анализа иерархий (МАИ).
4. Определена роль обеспечения ПБ локомотивов в системе глобальных приоритетов стратегии развития локомотивного парка.

Материалы и методы

Оценку пожарной опасности локомотивной тяги проводили на основании статистических и литературных данных о пожарах [1–11]. Однако ПБ локомотивов нельзя рассматривать, не учитывая, например, их энергетическую и экономическую эффективность, загрязнение окружающей среды в процессе эксплуатации. Необходим системный подход, для реализации которого при оценке перспектив развития локомотивной тяги применен МАИ, разработанный Томасом Саати [12].

Реализация МАИ предполагает опрос экспертов, в качестве которых были приглашены наиболее опытные работники, занимающиеся эксплуатацией локомотивов, разработкой нового подвижного состава, профессорско-преподавательский состав профильных вузов.

Успешное использование МАИ в других областях (например, исследования транспортной системы, решение экологических проблем) позволило оценить его преимущества, основными из которых являются: системность, возможность учета множества факторов и выявления из них приоритетных, определяющих дальнейшее развитие локомотивной тяги, использование знаний экспертов для компенсации недостаточности базы исходных данных.

Локомотив выбран в качестве общей цели, он располагается на первом (высшем) уровне. Критерии, уточняющие цель, формируют второй уровень. На третьем (нижнем) уровне расположены типы двигателей локомотивов, отличающиеся источником используемой энергии. Их необходимо оценить по отношению к критериям второго уровня.

Последовательность действий, направленных на анализ перспектив развития локомотивов, работающих на различных источниках энергии, выявление приоритетов, оценку ПБ с использованием МАИ, представлена на рис. 1.



Рис. 1. Последовательность действий при использовании МАИ для анализа перспектив развития локомотивов и оценки их ПБ

Для проведения субъективных парных сравнений и сравнительной оценки важности критериев они сравнивались в парах. Использовалась индексная шкала от 1/9 до 9, обоснование которой приведено в работе [12].

Применение МАИ позволило оценить место, которое занимают вопросы обеспечения ПБ при обосновании направлений развития локомотивной тяги.

Результаты исследования и их обсуждение

Пожары на локомотивах возникают с достаточной регулярностью, их количество остается высоким (рис. 2). Например, в декабре 2021 г. на перегоне станций Безенчук – Мыльная загорелся локомотив грузового поезда, который был сформирован из 65 вагонов с сырой нефтью. Время тушения составило 1 ч 20 мин. Пострадавших не было. Причиной возгорания стала неисправность электропроводки в локомотиве. В октябре 2021 г. возник пожар на тепловозе грузового поезда в Кировской обл. на перегоне Яр – Зуевка. Пострадавших не было. Причиной возгорания стала неисправность турбокомпрессора. В июле 2021 г. произошло возгорание в одной из секций локомотива грузового поезда, находившегося на запасных путях на станции Базаиха в г. Красноярске. Площадь пожара составила 80 м². Никто не пострадал.

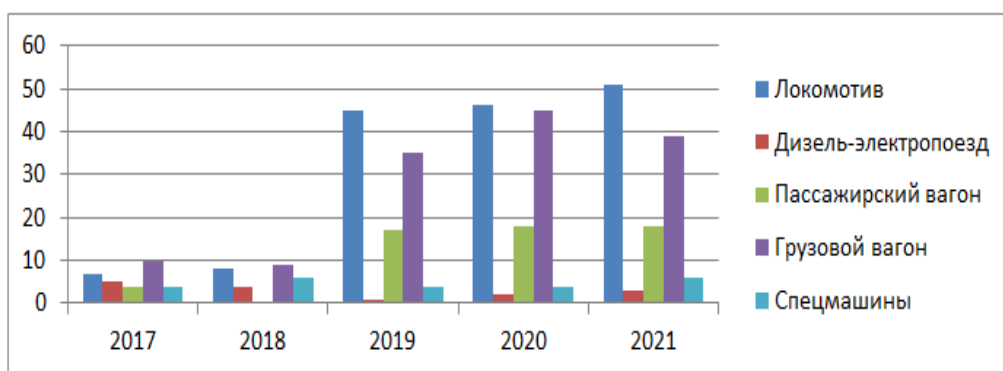


Рис. 2. Динамика пожаров по видам подвижного состава [6, 8, 9]

Исследование пожаров, произошедших на локомотивах, показывает, что пожары на тепловозах происходят в 1,4 раза чаще, чем на электровозах [6, 8, 9]. Короткое замыкание в силовых и вспомогательных сетях и неисправность топливопровода лидируют среди причин пожаров на тепловозах (рис. 3). Неисправность тягового электродвигателя и высоковольтных цепей следует рассматривать в качестве основных причин пожаров на электровозах (рис. 4).

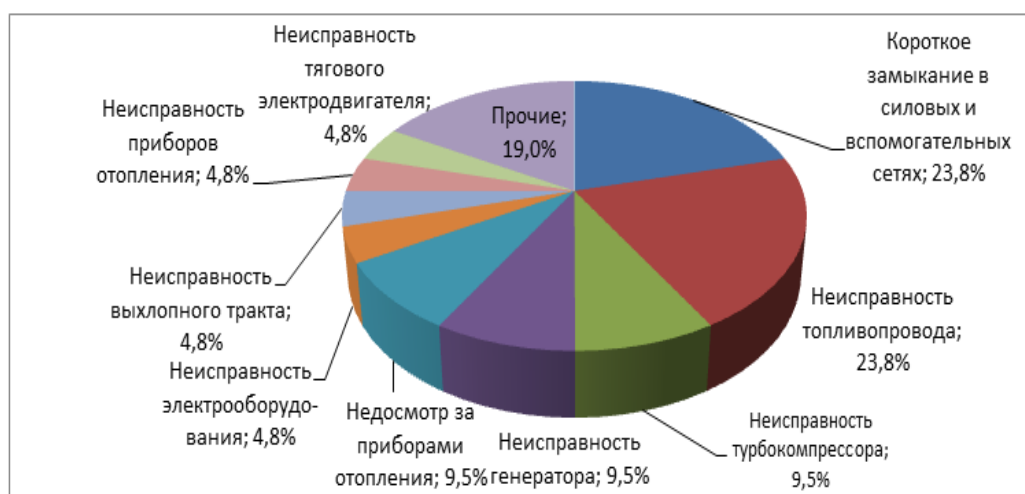


Рис. 3. Распределение причин пожаров на тепловозах

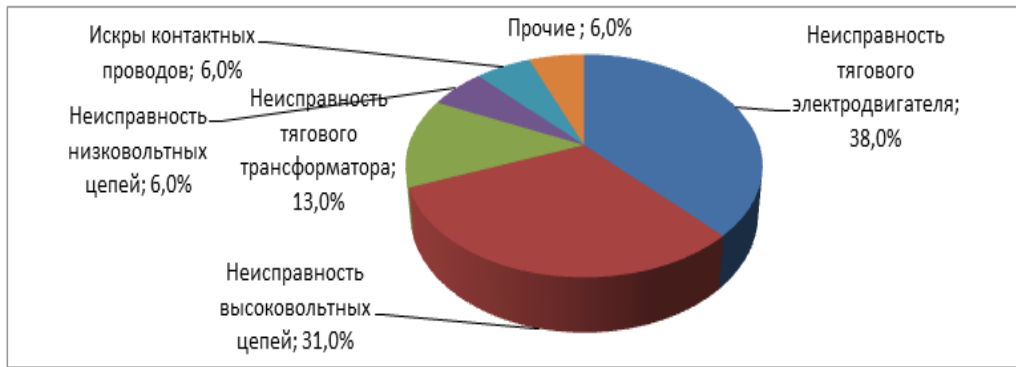


Рис. 4. Распределение причин пожаров на электровозах

Количество пожаров зависит от серии тепловозов и электровозов (рис. 5).

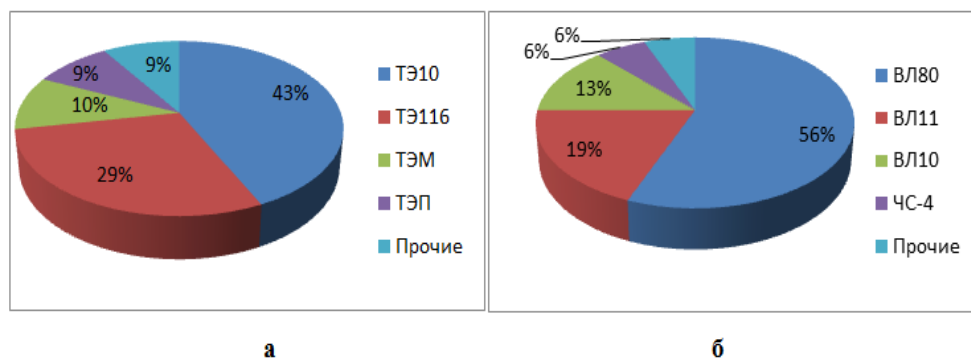


Рис. 5. Количество пожаров по сериям: а – тепловозов; б – электровозов

Одним из наиболее важных факторов, положенных в основу сравнительной оценки обеспечения ПБ, является тип двигателя, который установлен на локомотиве (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительный анализ пожарной опасности локомотивов, использующих различные источники энергии

Тип двигателя	Пожарная опасность и причины пожаров	Пути снижения пожарной опасности	
		общие	специфические
Дизельный двигатель (ДД)	Зависит от марки топлива и его свойств. Локомотивы работают в условиях повышенной вибрации и тепла. Причины: утечка топлива; перегрев двигателя, связанный, например, с неисправностью системы охлаждения; несоблюдение правил ПБ и др.	Соблюдение правил эксплуатации; правильное хранение и использование легко воспламеняющихся и горючих веществ и материалов; своевременное техническое обслуживание и ремонт; применение огнезащитных материалов и компонентов;	Соблюдение условий хранения и использования дизельного топлива; наличие систем обнаружения утечек топлива; обеспечение исправной работы системы подачи топлива, электрооборудования, их регулярные проверки
Электро-двигатель (ЭД)	Риск возникновения пожара, связанного с топливом или маслом, значительно ниже. Отсутствуют	использование датчиков дыма и температуры;	Соблюдение правил устройства и эксплуатации электрических систем

Тип двигателя	Пожарная опасность и причины пожаров	Пути снижения пожарной опасности	
		общие	специфические
	источники открытого пламени. Причины: короткие замыкания, перегрузки, искры, перегрев оборудования, физические неисправности, неправильное хранение и зарядка аккумуляторов, несоблюдение правил ПБ и др. Возможно быстрое распространение горения по электропроводке	обеспечение эффективной вентиляции и кондиционирования воздуха в кабине машиниста и других закрытых помещениях локомотива; защита оборудования от перегрева;	
Двигатель на водородных топливных элементах (ВД)	Водород – горючий, взрывоопасный газ. Причины: утечки водорода, что связано с размерами молекул H ₂ , возникновение электрических разрядов, протекание химических и электрохимических реакций, перегрев оборудования, несоблюдение правил ПБ и др.	наличие систем отключения и оповещения о пожаре; использование систем автоматического пожаротушения; соблюдение правил пожарной безопасности; обучение персонала правилам безопасности;	Соблюдение условий хранения и использования водородного топлива; применение водородных датчиков для фиксации утечек: предупреждение о возможном риске пожара и (или) взрыва; разработка и принятие мер по предотвращению утечек водорода; обеспечение исправной работы системы получения и подачи водородного топлива
Двигатель на газовом топливе (ГД)	В качестве топлива применяются горючие, взрывоопасные газы. Причины: утечки газа; перегрев оборудования; неправильная эксплуатация системы подачи газа, например, перегрузка двигателя или эксплуатация на неподходящих скоростях, несоблюдение правил ПБ и др.	ограниченность доступа для лиц, не имеющих необходимых навыков и знаний в области безопасности	Соблюдение условий хранения и использования газового топлива; применение детекторов для определения утечек газа; предупреждение о возможном пожаре, взрыве; разработка и принятие мер по предотвращению утечек газа; обеспечение исправной работы системы подачи газового топлива
Гибридный двигатель (ГБ)	Комбинация опасностей, связанных с каждым источником энергии. Причины: неисправности в электрической системе, дизельного двигателя (например, в системе охлаждения), нарушения при хранении и зарядке аккумуляторов; нарушение правил эксплуатации локомотива (например, перегрузка двигателя)		Обеспечение исправного технического состояния каждого источника энергии и соблюдение правил их эксплуатации

Для анализа направлений развития локомотивной тяги и оценке их ПБ были сформированы критерии (табл. 2), количество которых является оптимальным для проведения обоснованных численных сравнений при реализации МАИ [12].

Характеристика критериев, предназначенных для оценки перспектив развития локомотивной тяги методом МАИ

Критерий	Расшифровка критерия
ЭЭ – энергетическая эффективность	Отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта. Характеризуется коэффициентом полезного действия и коэффициентом использования мощности
УН – углеродная нейтральность	Выбросы CO ₂ и других парниковых газов при эксплуатации локомотивов, получении топливно-энергетических ресурсов
ПБ – пожарная безопасность	Характеризуется возможностью предотвращения возникновения и развития пожара, воздействия опасных факторов пожара на людей и имущество
ФВ – физическое воздействие	Воздействие шума и вибрации на окружающую среду и человека
БЧ – безопасность человека	Безопасность человека при авариях и чрезвычайных ситуациях, возможность предотвращения, охрана труда
ЭЗ – эксплуатационные затраты	Затраты на ремонт локомотивов, на энергоресурсы, часть расходов по текущему содержанию экипажных устройств, зависящая от количества потребляемого топлива и электроэнергии и т.д.
КО – конструктивные особенности локомотивов и их экипажка	Необходимость обновления и строительства инфраструктуры, возможности внедрения инновационных технических и технологических решений, предназначенных для получения топлива и экипажки локомотивов, автономность, длина полигона безотцепочного следования, габариты и масса силовых установок, накопителей энергии
ОЭ – отходы эксплуатации	Образование отходов эксплуатации (отработанные масла, аккумуляторные батареи, масляные фильтры и т.д.), наличие технологий утилизации, их доступность

Каждый эксперт заполнял одну матрицу второго уровня и восемь матриц третьего уровня, примеры которых представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Пример заполнения матрицы второго уровня

	ЭЭ	УН	ПБ	ФВ	БЧ	ЭЗ	КО	ОЭ	V _i , %
ЭЭ	1	3	6	9	4	1/3	2	5	6,03
УН	1/3	1	4	7	2	1/4	4	5	3,48
ПБ	1/6	1/4	1	4	1	1/6	1/3	2	25,13
ФВ	1/9	1/7	1/4	1	1/5	1/9	1/6	1	15,61
БЧ	1/4	1/2	1	5	1	1/5	1/2	4	28,55
ЭЗ	3	4	6	9	5	1	8	5	7,44
КО	1/2	1/4	3	6	2	1/8	1	3	8,46
ОЭ	1/5	1/5	1/2	1	1/4	1/4	1/3	1	5,31

Примечание: $\lambda_{\max} = 8,947$; ИС=0,135; ОС=0,096<0,1

Значение веса критерия V_i, наибольшее собственное значение матрицы суждений λ_{\max} , индекс согласованности (ИС) и отношение согласованности (ОС) определяли по методике [12].

Пример заполнения МПС для третьего уровня по критерию «Пожарная безопасность»

ЭЭ	ЭД	ДД	ВД	ГТ	ГБ	$V_i, \%$
ЭД	1	1/3	1/5	1/3	1/3	6,1
ДД	3	1	1/3	1/3	1	13,2
ВД	5	3	1	1	3	35,36
ГТ	3	3	1	1	3	31,93
ГБ	3	1	1/3	1/3	1	13,26

Примечание: $\lambda_{\max} = 5,110$; ИС=0,028; ОС=0,025<0,1

Для получения согласованных данных величина ОС не должна превышать 10 %. В отдельных случаях допускается ее увеличение до 20 % [12]. Если ОС более 10–20 %, эксперту предлагалось проверить свои суждения.

Итоговые значения V_i , обобщенные по результатам опроса всех экспертов, представлены на рис. 6. Критерий «Пожарная безопасность» занимает третье место в системе приоритетов после критериев «Безопасность человека» и «Энергетическая эффективность». Критерий «Эксплуатационные затраты» очень незначительно уступает критерию «Пожарная безопасность» (значения V_i составляют 13,4 и 13,7 % соответственно).

Итоговая оценка весовых показателей двигателей локомотивов по критерию «Пожарная безопасность» (третий уровень в декомпозиции задачи) представлена на рис. 7.

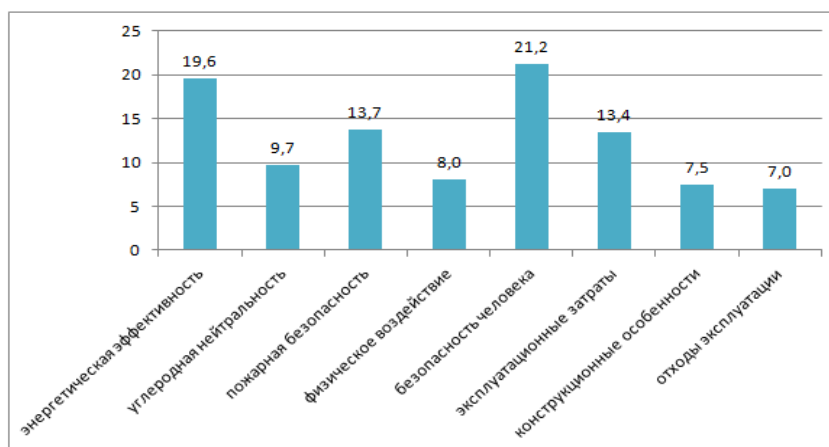


Рис. 6. Итоговые значения весов критериев перспектив развития локомотивной тяги (второй уровень)

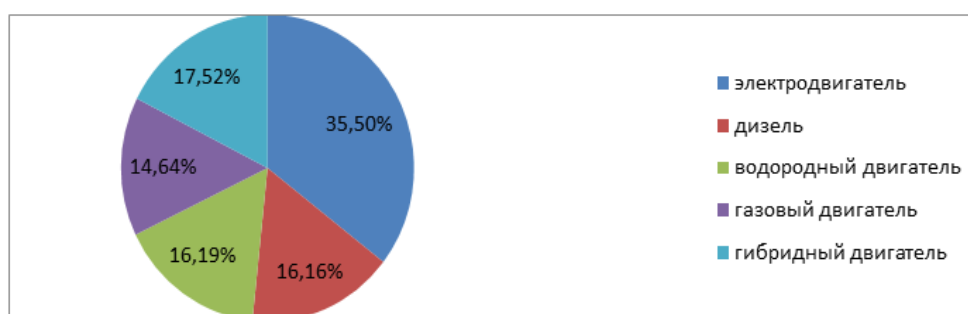


Рис. 7. Итоговая оценка весов двигателей локомотивов по критерию «Пожарная безопасность»

По критерию «Пожарная безопасность» наибольшим приоритетом (с отрывом от остальных типов двигателей более чем в два раза) обладает электродвигатель. Второе место – у гибридных локомотивов. По критерию «Пожарная безопасность» водородный двигатель находится практически на одном уровне с дизельным. Это, на взгляд авторов, определяется высокой взрывопожароопасностью водорода, нерешенностью проблем, связанных с предотвращением его утечек и необходимостью дополнительных мер по обеспечению безопасности.

Выявление глобальных приоритетов и определение перспектив развития локомотивной тяги по всем представленным в табл. 2 критериям дало следующие результаты (рис. 8): наибольший приоритет (34,4 %) принадлежит электродвигателю, на втором месте находятся локомотивы на водородных топливных элементах, дизельный двигатель в системе глобальных приоритетов занимает пятое место.

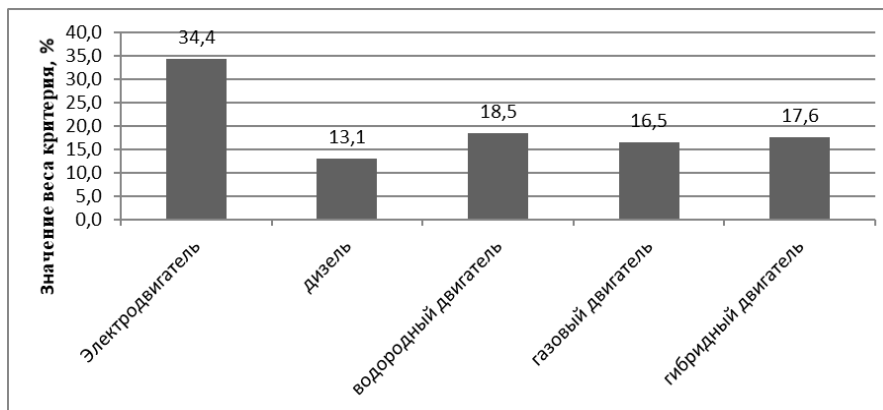


Рис. 8. Глобальные приоритеты развития локомотивной тяги

Однако следует отметить, что, несмотря на низкий рейтинг дизельных двигателей, им принадлежит ведущая роль в обеспечении локомотивной тяги. Планируемый постепенный отказ от закупки дизельных локомотивов «в пользу подвижного состава на альтернативных видах топлива» [13] на сегодняшний день сопряжен со значительными трудностями. В случае, например, с водородными двигателями, основные ограничения связаны с высокой стоимостью получения «зеленого» водорода, отсутствием необходимой инфраструктуры и нерешенностью в полном объеме проблем обеспечения безопасности и др.

При разработке и внедрении стратегий развития локомотивной тяги необходимо учитывать весь спектр существующих проблем. Выявление из них приоритетных позволит осуществлять оптимальное распределение энергетических, экономических, временных и т.д. ресурсов и минимизировать затраты на создание и внедрение перспективных локомотивов.

Заключение

В работе проведена сравнительная оценка ПБ локомотивов, работающих на различных источниках энергии.

Для реализации системного подхода к оценке перспектив развития локомотивной тяги предложена система критериев и обоснованы преимущества применения МАИ. Использование МАИ позволило выявить взаимное влияние и приоритеты рассмотренных критериев и доказать статистическую значимость полученных результатов.

Критерий «Пожарная безопасность» занимает третье место в системе приоритетов развития локомотивной тяги после критериев «Безопасность человека» и «Энергетическая эффективность».

При оценке локомотивов с точки зрения обеспечения ПБ первое место с большим отрывом от остальных типов двигателей удерживает электродвигатель. Гибриды занимают

второе место. По критерию «Пожарная безопасность» водородный двигатель находится практически на одном уровне с дизельным.

В системе глобальных приоритетов электродвигатель подтвердил наибольшую перспективность в развитии локомотивной тяги. На втором месте находятся локомотивы на водородных топливных элементах. Дизельный двигатель в системе глобальных приоритетов занял пятое место. Однако, несмотря на низкий рейтинг дизельных двигателей, в настоящее время им принадлежит ведущая роль в обеспечении локомотивной тяги.

Вопросы повышения ПБ необходимо решать в комплексе с проблемами повышения энергетической эффективности, снижения эксплуатационных затрат, повышения экологической безопасности и т.д., выявляя их взаимное влияние и приоритеты. На основании полученных результатов должна быть сформирована стратегия устойчивого развития локомотивной тяги.

Список источников

1. Villa J.C., Boile M., Theofanis S. Trade and transportation relationship // International trade and transportation infrastructure development. 2020. Publ. 1. P. 3–31.
2. Sustainable development goals and transportation modes: analyzing sustainability pillars of environment, health, and economy / V.M. Taghvaei [et al.] // World development sustainability. 2022. Vol. 1.
3. Влияние экологической повестки на международные железнодорожные грузоперевозки: информационно-аналитический обзор. URL: <https://index1520.com/> (дата обращения: 01.03.2023).
4. Litman T. Transportation and public health // Annual review of public health. 2013. Vol. 34. P. 217–233.
5. Building urban resilience / A.K. Jha [et al.] // The World bank. 2013.
6. Асламова В.С., Фролова Е.Ю. Системный анализ причин возникновения пожаров на локомотивах ОАО «РЖД» // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 4 (60).
7. Экспертный подход к оценке энергоэкологической эффективности и пожарной опасности грузовых перевозок на железнодорожном транспорте / Л.А. Королева [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 7-8. С. 43–52.
8. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: стат. сб. Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
9. Шевченко А.И., Денисов В.В. Анализ и оценка состояния пожарной безопасности на объектах ОАО «Российские железные дороги» // Наука и техника транспорта. 2021. № 1. С. 94–102.
10. Гордиенко Д.М., Шебеко Ю.Н. Пожарная безопасность объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта на водородном топливе // Пожаровзрывобезопасность. 2022. № 2. С. 41–51.
11. Hansen O.R. Hydrogen infrastructure – efficient risk assessment and design optimization approach to ensure safe and practical solutions // Process safety and environment protection. 2020. Vol. 143. P. 164–176.
12. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.
13. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р. // Министерство транспорта Российской Федерации. URL: <https://mintrans.gov.ru/> (дата обращения: 08.03.2023).

References

1. Villa J.C., Boile M., Theofanis S. Trade and transportation relationship // International trade and transportation infrastructure development. 2020. Publ. 1. R. 3–31.

2. Sustainable development goals and transportation modes: analyzing sustainability pillars of environment, health, and economy / V.M. Taghvaei [et al.] // World development sustainability. 2022. Vol. 1.
3. Vliyanie ekologicheskoy povestki na mezhdunarodnye zheleznodorozhnye gruzoperevozki: informacionno-analiticheskij obzor. URL: <https://index1520.com/> (data obrashcheniya: 01.03.2023).
4. Litman T. Transportation and public health // Annual review of public health. 2013. Vol. 34. R. 217–233.
5. Building urban resilience / A.K. Jha [et al.] // The World bank. 2013.
6. Aslamova V.S., Frolova E.Yu. Sistemnyj analiz prichin vozniknoveniya pozharovna lokomotivah OAO «RZHD» // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. 2018. № 4 (60).
7. Eksergeticheskij podhod k ocenke energoekologicheskoy effektivnosti i pozharnoj opasnosti gruzovyh perevozok na zheleznodorozhnom transporte / L.A. Koroleva [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2018. T. 27. № 7-8. S. 43–52.
8. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu: statist. sb. Balashiha: VNIPO MCHS Rossii, 2022. 114 s.
9. Shevchenko A.I., Denisov V.V. Analiz i oценка sostoyaniya pozharnoj bezopasnosti na ob"ektah OAO «Rossijskie zheleznye dorogi» // Nauka i tekhnika transporta. 2021. № 1. S. 94–102.
10. Gordienko D.M., Shebeko Yu.N. Pozharnaya bezopasnost' ob"ektov infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta na vodorodnom toplive // Pozharovzryvobezopasnost'. 2022. № 2. S. 41–51.
11. Hansen O.R. Hydrogen infrastructure – efficient risk assessment and design optimization approach to ensure safe and practical solutions // Process safety and environment protection. 2020. Vol. 143. P. 164–176.
12. Saati T., Kerns K. Analiticheskoe planirovanie. Organizaciya sistem: per. s angl. R.G. Vachnadze. M.: Radio i svyaz', 1991. 224 s.
13. Transportnaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 17 iyunya 2008 g. № 877-r. // Ministerstvo transporta Rossijskoj Federacii. URL: <https://mintrans.gov.ru/> (data obrashcheniya: 08.03.2023).

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 18.04.2023; одобрена после рецензирования: 27.04.2023;
принята к публикации: 16.05.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 18.04.2023; approved after review: 27.04.2023;
accepted for publication: 16.05.2023

Информация об авторах:

Королева Людмила Анатольевна, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: koroleva.l@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5661-5774>

Ивахнюк Григорий Константинович, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор химических наук, профессор, e-mail: fireside@inbox.ru

Малыгин Игорь Геннадьевич, директор Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук (199178, Санкт-Петербург, 12-я линия В.О., д. 13), доктор технических наук, профессор, e-mail: malygin_com@mail.ru

Information about the authors:

Koroleva Lyudmila A., professor of the department of fire, rescue equipment and automobile economy of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: koroleva.l@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5661-5774>

Ivakhnyuk Grigory K., professor of the department of fire safety of technological processes and productions of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of chemical sciences, professor, e-mail: fireside@inbox.ru

Malygin Igor G., director of the N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences (199178, Saint-Petersburg, 12th line V.O., 13), doctor of technical sciences, professor, e-mail: malygin_com@mail.ru