

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья

УДК 629.423.1

EDN: <https://elibrary.ru/clcpok>

Текущее состояние и перспективы развития систем энергооптимального управления электровозами 2ЭС6

С. Г. Истомина, К. И. Доманов✉, А. П. Шатохин, И. Н. Денисов

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
Омск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Предметом исследования являются текущее состояние и перспективы развития систем энергооптимального вождения поездов грузовыми магистральными электровозами постоянного тока 2ЭС6. Анализ влияния современных тенденций в области энергосбережения и улучшения эффективности использования тяговых энергетических ресурсов на железнодорожном транспорте на тягу поездов показал, что в настоящее время малоисследованными остаются режимы ведения поезда, построенные на методах и алгоритмах машинного обучения и искусственного интеллекта. Основной целью исследования является определение уровня фактического использования систем автоматизации вождения грузовых поездов на участках Урало-Сибирского железнодорожного полигона и его влияние на энергооптимальный график исполненного движения поездов.

Материалы и методы. При решении поставленных задач в работе были использованы основные положения теории тяги поездов, понятия теории автоматизированного управления и диагностики электроподвижного состава, а также статистические методы обработки данных.

Результаты. Сформулирована гипотеза о том, что интеллектуально-адаптивная система поддержки управления подвижным составом с применением методов и алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта позволит снизить значения удельного расхода электроэнергии локомотивами. Показано, что наиболее целесообразным для построения динамических моделей энергооптимального движения локомотива в режиме реального времени для интеллектуально-адаптивной системы поддержки управления подвижным составом с применением методов и алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта является использование данных из автоматизированного рабочего места регистратора параметров движения и автоведения грузового локомотива, так как именно эти данные содержат точные значения географических координат, что позволяет синхронизировать измерения по различным поездкам на определенном участке.

Обсуждения и заключение. Применение настраиваемой искусственной рекуррентной нейронной сети на долгой краткосрочной памяти при разработке новых или усовершенствовании уже существующих методов энергоэффективного управления тяговым подвижным составом с поездом позволит модернизировать используемые на локомотивах регистраторы параметров движения. Разработанный авторами алгоритм может лечь в основу создания принципиально новой интеллектуально-адаптивной системы поддержки управления подвижным составом с применением методов и последовательностей машинного обучения и искусственного интеллекта. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку технологии построения динамических моделей энергооптимального движения локомотива с поездом в режиме реального времени.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электроподвижной состав, автоведение, энергооптимальное управление, регистраторы параметров движения, динамические модели, машинное обучение, искусственный интеллект

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Истомин С. Г., Доманов К. И., Шатохин А. П., Денисов И. Н. Текущее состояние и перспективы развития систем энергооптимального управления электровозами 2ЭС6 // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 3. С. 215–229.

Original article

UDK 629.423.1

EDN: <https://elibrary.ru/clcpok>



Current state and prospects of development of energy-optimal control systems for 2ES6 electric locomotives

Stanislav G. Istomin, Kirill I. Domanov✉, Andrey P. Shatokhin, Il'ya N. Denisov

Omsk State Transport University,
Omsk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The research focuses on the current state and prospects of development of the systems of energy-optimal train driven by freight main line DC electric locomotives 2ES6. An analysis of current trends in energy saving and increasing the efficiency of traction energy resources in railway transport and their impact on haulage of trains shows that train guidance based on machine learning and artificial intelligence remains poorly researched. The study is primarily intended to determine the actual use of automation of goods train driving in the sections of the Ural-Siberian railway proving ground and its impact on the energy-optimal schedule of completed train operations.

Materials and methods. The problem solving involved the basic provisions of the theory of haulage of trains, concepts of the theory of automated control and diagnostics of electric rolling stock, as well as statistical methods of data processing.

Results. The authors hypothesise that a smart adaptive rolling stock control support system with machine learning and AI would reduce the specific power consumption of locomotives. The researchers show that the most feasible way to build real-time dynamic models of energy-optimal locomotive motion for such smart system is to use data from the automated workstation of a freight locomotives motion recorder and auto-drive, as this is the data that contains accurate geographic coordinates to synchronise measurements on trips in a particular section.

Discussion and conclusion. A tunable artificial recurrent neural network on long short-term memory in new or existing improved methods for energy-efficient train rolling stock control would improve the motion recorders used on locomotives. The developed algorithm may form the basis of a fundamentally new smart adaptive rolling stock control support system with machine learning and AI. Further research would be focused on the development of technology for building dynamic models of energy-optimal real-time locomotive movement with train.

KEYWORDS: electric rolling stock, auto-driving, energy-optimal control, motion recorders, dynamic models, machine learning, artificial intelligence

FOR CITATION: Istomin S. G., Domanov K. I., Shatokhin A. P., Denisov I. N. Current state and prospects of development of energy-optimal control systems for 2ES6 electric locomotives. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(3):215-229. (In Russ.).

Введение. Устройства для регистрации параметров движения на локомотивах известны с конца XIX в.: они позволяли измерять и фиксировать скорость тягового подвижного состава. Такие устройства представляли собой короб, внутри которого вращался, с приводом от оси паровоза, круг с механическим самописцем, фиксирующим показание скорости на каждый момент времени. В последующем стали внедряться скоростемеры, фиксация параметров движения в которых велась латунными писцами на бумажной ленте. С распространением автоматической локомотивной сигнализации потребовалось регистрировать параметры ее работы, и локомотивные самописцы были доработаны установкой четырех электромагнитов с писцами. Так появился ленточный модернизированный скоростемер ЗСЛ-2М, который получил наибольшее распространение на электровозах серий ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80. В конце XX в. на отечественном электрическом подвижном составе начали появляться микропроцессорные контрольно-измерительные устройства для тягового подвижного состава: комплекс средств сбора и регистрации данных (КПД-3); комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ). Такие устройства позволяют фиксировать большее количество параметров движения, чем их предшественники, а также вести запись этих параметров на специальный съемный носитель. С появлением тягового подвижного состава нового поколения, оснащенного микропроцессорной системой управления локомотивом, возникла потребность в усовершенствованном бортовом оборудовании контроля и фиксации параметров движения поезда.

На современных магистральных электровозах постоянного тока серии 2ЭС6 (пришедших на замену электровозам серий ВЛ10 и ВЛ11), которые начали поступать в эксплуатацию с 2008 г., изначально устанавливались штатные системы информирования машиниста о расписании и параметрах движения поезда (СИМ-ВНИИЖТ) и автоведения (АВ), которые разработали специалисты АО «ВНИИЖТ».

Системы СИМ-ВНИИЖТ и АВ не имели в своем составе аппаратных средств и являлись программным

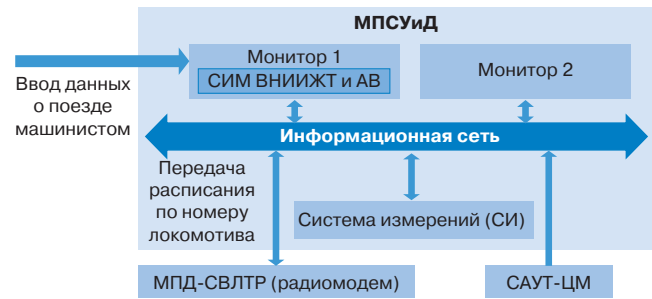


Рис. 1. Структура информационного взаимодействия СИМ-ВНИИЖТ и АВ с аппаратурой электровоза

Fig. 1. The structure of information interaction of the system informing the driver about the schedule and traffic working parameters and the auto-driving system with electric locomotive equipment

обеспечением, размещенным на вычислителях микропроцессорной системы управления локомотивом и диагностики МПСУИД (разработчик НПО «САУТ», г. Екатеринбург)¹. Структура информационного взаимодействия СИМ-ВНИИЖТ и АВ с аппаратурой электровоза представлена на рис. 1.

Алгоритмы работы системы АВ позволяют осуществлять адаптивное к условиям движения энергорациональное управление поездами на основе уточняемого в процессе движения сопротивления движению и коэффициента сцепления, контролируя на допустимом уровне значения квазистатических сил сжатия и растяжения, возникающих в автосцепных устройствах подвижного состава. Над такими алгоритмами работали коллективы ученых, которые описали и запатентовали программно-аппаратный комплекс системы управления локомотивом для исследования продольно-динамических усилий в составе соединенного поезда² [1]. Данный комплекс систем позволяет автоматизировать процесс ведения грузовых поездов повышенной массы и длины с распределенными по длине состава локомотивами (сдвоенные поезда) с учетом фактического коэффициента сцепления колес локомотива с рельсами. Ученые из АО «ВНИИЖТ» в своих патентах³ и публикациях [2, 3] предложили решение задачи

¹ Система информирования машиниста о расписании и параметрах движения поезда и автоведения электровазов 2ЭС6 и 2ЭС10. Инструкция по использованию. М., 2014. С. 19.

² Там же; Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023619690 Российская Федерация. Система для автоматизированного управления локомотивами (АВ-РТМ): № 2023614606: заявл. 13.03.2023; опублик. 15.05.2023 / Никифорова Н. Б., Худорожко М. В., Елисеев И. А. [и др.]; заявитель Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта; Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020614614 Российская Федерация. Система автоматизированного ведения соединенными поездами по радиоканалу (АВ-РТ): № 2020613554: заявл. 26.03.2020; опублик. 16.04.2020 / Никифорова Н. Б., Худорожко М. В., Елисеев И. А. [и др.]; заявитель Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта; Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018617350 Российская Федерация. Система автоматизированного управления самоходным специальным железнодорожным подвижным составом: № 2018614423: заявл. 04.05.2018; опублик. 22.06.2018 / Мурзин Р. В., Никифорова Н. Б., Худорожко М. В. [и др.]; заявитель Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта.

³ Патент № 2632039 Российская Федерация, МПК В61С 17/12, В60Л 15/32. Система автоматизированного вождения грузовых поездов повышенной массы и длины с распределенными по длине состава локомотивами: № 2016120947: заявл. 27.05.2016; опублик. 02.10.2017 / Алексеев Е. Н., Никифорова Н. Б., Худорожко М. В. [и др.]; заявитель Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта; Патент № 2729157 Российская Федерация, МПК В61С 17/12. Способ и система автоматизированного вождения грузовых поездов повышенной массы и длины с распределенными по длине состава локомотивами: № 2020107345: заявл. 18.02.2020; опублик. 04.08.2020 / Никифорова Н. Б., Худорожко М. В., Елисеев И. А. [и др.]; заявитель ОАО «Российские железные дороги».

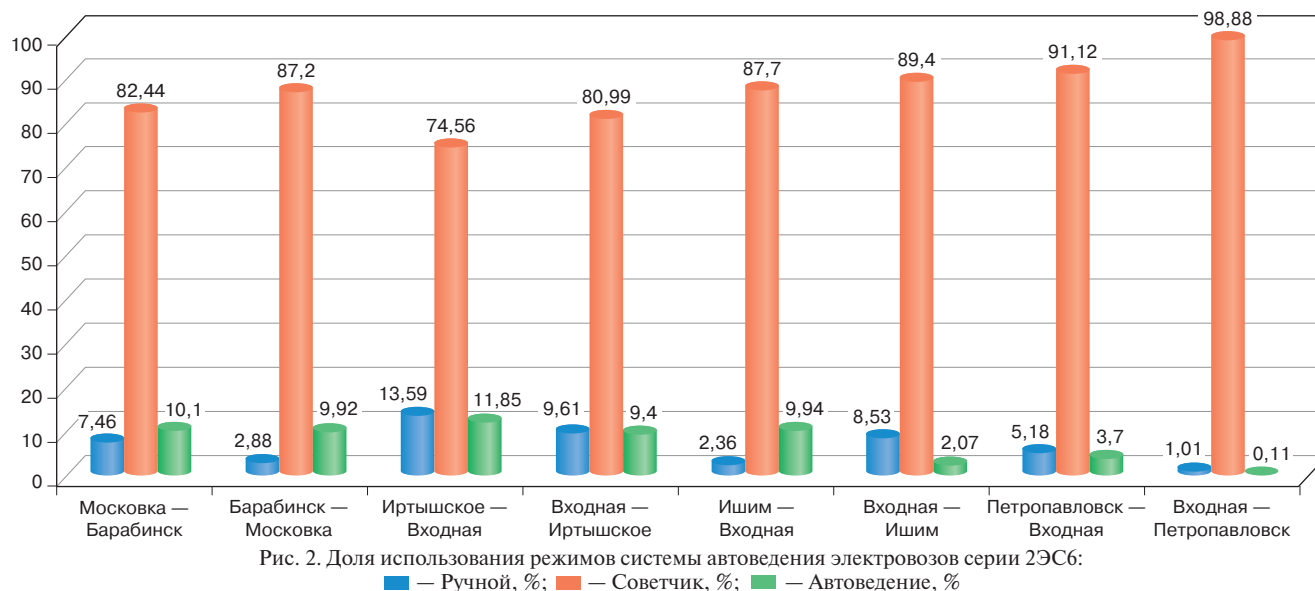


Рис. 2. Доля использования режимов системы автоведения электровозов серии 2ЭС6:

■ — Ручной, %; ■ — Советчик, %; ■ — Автоведение, %

Fig. 2. Share of auto-driving system modes used on 2ES6 electric locomotives:

■ — Manual, %; ■ — Advisor, %; ■ — Auto-driving, %

по определению действующей силы тяги локомотива на поезд в процессе движения, которое позволит повысить эффективность систем автоведения поезда. В работах [4, 5] и свидетельстве № 2018617350⁴ описана стохастическая модель, отражающая зависимость фактической силы тяги локомотива от результатов измерений его кинематических и электрических параметров, что позволяет повысить эффективность использования тягового подвижного состава в эксплуатации за счет текущего уточнения удельного сопротивления движению в пути следования.

Как показал анализ данных об использовании режимов (рис. 2), система автоведения электровоза 2ЭС6 преимущественно использовалась в режиме «Советчик» — более 80 % времени. В «чистом» виде автоведение применялось не более 12 % времени.

Стоит отметить, что штатная система автоведения электровоза 2ЭС6, разработанная АО «ВНИИЖТ» совместно с НПО «САУТ», с 2016 г. постепенно начала замещаться на усовершенствованное, интегрированное с новыми системами управления перевозками, фиксирующее большее количество параметров за поездку программное обеспечение интеллектуальной системы автоматизированного вождения поездов повышенной массы и длины с распределенными по длине локомотивами (ИСАВП-РТ), которая была разработана компанией ООО «АВП Технология» (ранее — ЗАО «Отраслевой центр внедрения новой техники и технологий») совместно с АО «ВНИИЖТ» и МИИТ. Научные заделы по реализации данной системы формировались с начала 2000-х гг. и изложены в патентах^{5–10} и трудах [6–15], которые

⁴ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018617350 Российская Федерация. Система автоматизированного управления самоходным специальным железнодорожным подвижным составом: № 2018614423; заявл. 04.05.2018; опубл. 22.06.2018 / Мурзин Р. В., Никифорова Н. Б., Худорожко М. В. [и др.]; заявитель Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. EDN: <https://elibrary.ru/ygbial>.

⁵ Патент № 2238860 Российская Федерация, МПК В61С 17/12. Система автоматизированного вождения грузовых поездов повышенной массы и длины с распределенными по их длине локомотивами: № 2003132808/11; заявл. 12.11.2003; опубл. 27.10.2004 / Рабинович М. Д., Мугинштейн Л. А., Кривной А. М. [и др.]; заявитель Отраслевой центр внедрения новой техники и технологий.

⁶ Патент № 2252167 Российская Федерация, МПК В61С 17/12, G08G 1/00. Сетевой модуль связи по радиоканалу (СМРК) для системы автоматического управления поездом с распределенными по его длине локомотивами: № 2004124233/11; заявл. 11.08.2004; опубл. 20.05.2005 / Рабинович М. Д., Кривной А. М., Галченков Л. А. [и др.]; заявитель Отраслевой центр внедрения новой техники и технологий.

⁷ Патент № 2487036 Российская Федерация, МПК В61L 27/00. Устройство построения энергосберегающих графиков движения поездов: № 2011153812/11; заявл. 28.12.2011; опубл. 10.07.2013 / Мугинштейн Л. А., Ляшко О. В., Анфиногенов А. Ю., [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «Российские железные дороги».

⁸ Эльбрус. Инновации: уверенное движение: [сайт]. М., 2023. URL: <https://elbrus-r.ru/razrabotki/as-energoserber> (дата обращения: 30.09.2023).

⁹ АВП Технология: [сайт]. М., 2023. URL: <https://avpt.ru> (дата обращения: 30.09.2023).

¹⁰ Патент № 2299144 Российская Федерация, МПК В61L 3/00. Система автоматизированного ведения грузового поезда: № 2005122634/11; заявл. 19.07.2005; опубл. 20.05.2007 / Аршавский А. В., Донской А. Л., Мугинштейн Л. А. [и др.]; заявитель и патентообладатель АВП-Технология.

посвящены технологии организации движения грузовых поездов на укрупненных полигонах железнодорожной сети. Ее основу составляет созданная в АО «ВНИИЖТ» автоматизированная система построения суточных графиков движения поездов с энергооптимальными перегонными временами хода — аппаратно-программный комплекс (АПК) «Эльбрус».

В состав корпоративного инвентарного электровазона парка эксплуатационного локомотивного депо ТЧЭ-2 Омск Западно-Сибирской дирекции тяги — структурное подразделение Дирекции тяги — филиала ОАО «РЖД» входит 250 электровазона серии 2ЭС6. Монтаж программного обеспечения системы ИСАВП-РТ проходил этапами с 2016 г. К 2024 г. 84% приписного парка электровазона 2ЭС6 были оборудованы новым программным обеспечением.

В основе оптимизации траектории движения ИСАВП-РТ лежит принцип максимума Л. С. Понтрягина, который используется в теории оптимального управления для нахождения наилучшего возможного управления для перевода динамической системы из одного состояния в другое, особенно при наличии ограничений на состояние или входные элементы управления. При расчетах используется метод последовательных приближений, в котором на каждом шаге вычислительного процесса строится допустимое приближенное решение задачи с расходом энергии меньшим, чем на предыдущем шаге, что дает возможность остановки процесса вычислений, как только расход энергии на полученном шаге приближения станет близким к оптимальному с приемлемой точностью [16]. Задача оптимального управления поездом в данной постановке описывается следующими выражениями:

$$\frac{dJ(s)}{ds} = u_F(s)U_{F_{\max}}(V(s)); \quad (1)$$

$$\frac{dt(s)}{ds} = \frac{1}{\sqrt{V(s)}}; \quad (2)$$

$$\frac{dV(s)}{ds} = 2[-W(s, V(s)) + u_F(s)U_{F_{\max}}(V(s)) - u_B(s)U_{B_{\max}}(V(s))]; \quad (3)$$

$$J(0) = 0, \quad t(0) = 0, \quad V(0) = V_0; \quad (4)$$

$$t(S) = F, \quad V(S) = V_F, \quad 0 \leq s \leq S. \quad (5)$$

Здесь переменными являются путь s , затраты топливно-энергетических ресурсов $J(s)$, время t и $V(s)$ — квадрат скорости, которому пропорциональна кинетическая энергия поезда. Сила тяги F , торможения B и сопротивления движению W принимаются в расчете на единицу массы поезда с учетом инерции вращающихся масс. U — дифференцируемые по скорости функции, u — коэффициенты управления, S — длина участка.

Был проведен анализ использования машинами локомотивов 2ЭС6 автоведения поезда на исследуемых железнодорожных участках по данным АРМ РПДА-Г с помощью функции «Пакетная выгрузка». Всего было проанализировано свыше 80 тыс. поездов в четном и нечетном направлениях с использованием первичного метода обработки математико-статистического анализа данных. На рис. 3 показано, что на участках эксплуатационного локомотивного депо Омск машинисты на электровазонах 2ЭС6 преимущественно пользуются режимом подсказки, в среднем около 70 % от пройденного пути; режим автоведения используют примерно в 30 %.

Анализ данных (рис. 4–7) показывает, что наблюдается достаточно широкая вариативность использования режима автоведения (от 0 до 100 %) с поездами различной массы, что соответствует объемам перевозочной работы и типам обращающихся поездов на исследуемых участках. На тяговых плечах Омск — Иртышское — Омск наиболее часто машинисты используют режим автоведения в диапазоне массы поездов 1800–2200 т, так как на данных тяговых плечах преобладают порожние и контейнерные поезда (рис. 4). На тяговых плечах Омск — Барабинск — Омск обращаются как легкие (порожние и контейнерные), так и тяжеловесные поезда, масса которых более 6000 т или длина более 350 осей. На этих тяговых плечах наблюдается наибольшее использование машинистами системы автоведения в диапазоне массы поездов 1800–6200 т (рис. 5). По своим характеристикам перевозочной работы описанным тяговым плечам аналогичны плечи Омск — Ишим — Омск, которые являются продолжением предыдущих на Транссибирской магистрали, поэтому на них также наблюдается наибольшее использование машинистами системы автоведения в диапазоне массы поездов 1800–6200 т (рис. 6). Тяговые плечи Омск — Петропавловск — Омск по своей перевозочной работе сопоставимы с тяговыми плечами Омск — Иртышское — Омск, поэтому наиболее часто машинисты используют режим автоведения в диапазоне массы поездов 1800–2200 т (рис. 7).

Выполнен анализ данных, представленных эксплуатационным локомотивным депо Омск, касательно доставки на борт локомотива энергооптимального графика движения поезда, который является основой при работе системы ИСАВП-РТ.

Рассматривались поездки локомотивных бригад приписки ТЧЭ-2 Омск, совершивших поездки на локомотивах, оснащенных оборудованием по приемке графика движения поезда на борт локомотива. Период анализа составил три года — с 2021 по 2023 г. Суммарно за указанный период было проанализировано свыше 300 тыс. поездов (таблица).

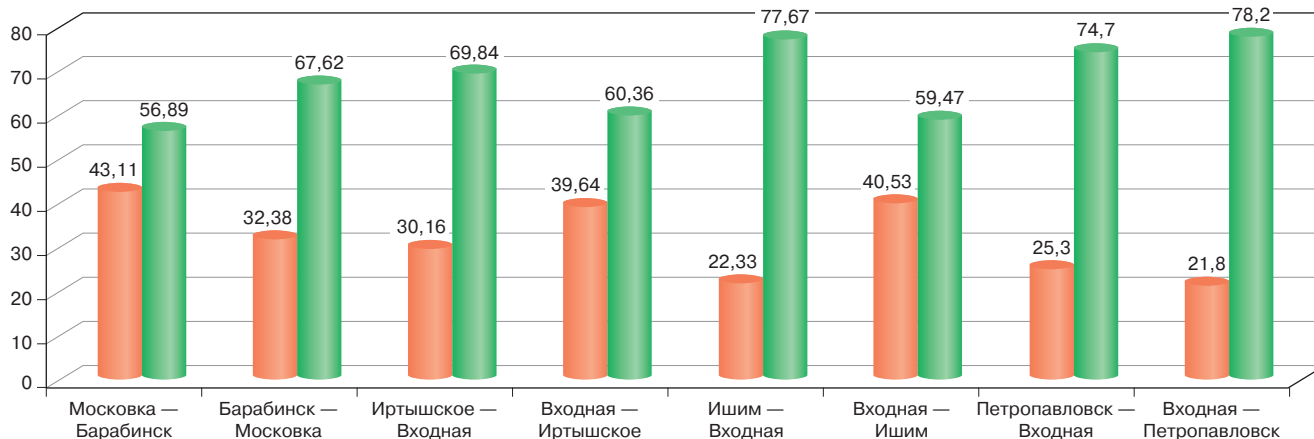


Рис. 3. Доля использования режимов системы автоведения электровозов серии 2ЭС6:

■ — Автоведение, %; ■ — Подсказка, %

Fig. 3. Share of auto-driving system modes used on 2ES6 electric locomotives:

■ — Auto-driving, %; ■ — Hint, %

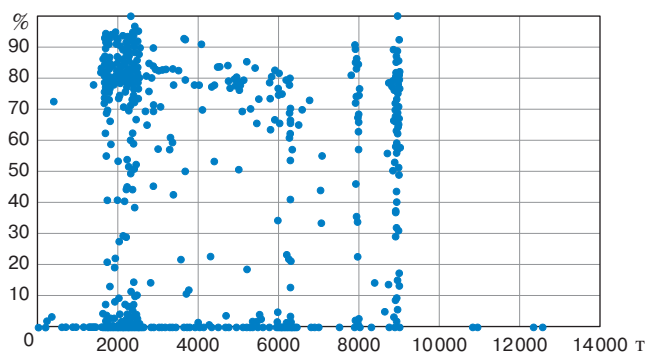


Рис. 4. Результаты усреднения данных об использовании режима автоведения на тяговых плечах Омск — Иртышское — Омск

Fig. 4. Averaged auto-driving data on Omsk — Irtyshskoye — Omsk locomotive run

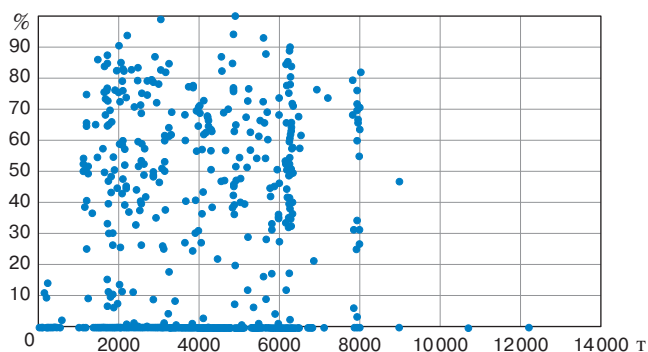


Рис. 6. Результаты усреднения данных об использовании режима автоведения на тяговых плечах Омск — Ишим — Омск

Fig. 6. Averaged auto-driving data on Omsk — Ishim — Omsk locomotive run

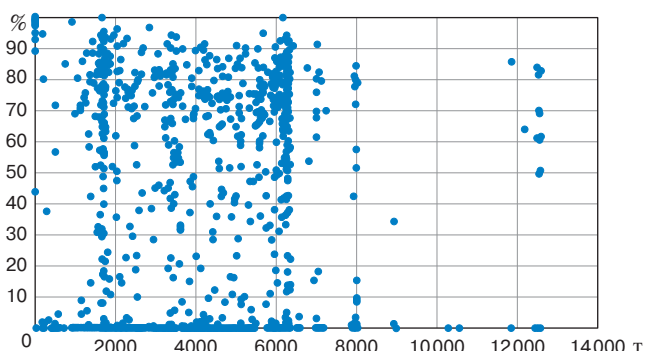


Рис. 5. Результаты усреднения данных об использовании режима автоведения на тяговых плечах Омск — Барабинск — Омск

Fig. 5. Averaged auto-driving data on Omsk — Barabinsk — Omsk locomotive run

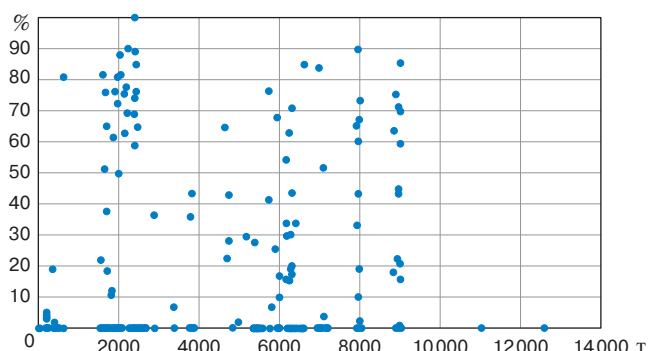


Рис. 7. Результаты усреднения данных об использовании режима автоведения на тяговых плечах Омск — Петропавловск — Омск

Fig. 7. Averaged auto-driving data on Omsk — Petropavlovsk — Omsk locomotive run

На рис. 8 показана средняя за год доля доставки энергооптимальных расписаний на борт электровоза серии 2ЭС6. Можно сказать, что негативная тенденция недоставки энергооптимальных расписаний на борт локомотива сохраняется.

На рис. 9–14 представлены гистограммы распределений отклонений от доставленных на борт локомотива расписаний в заданном интервале при отправлении поезда и расписаний в заданном интервале при прибытии поезда.

Таблица

Свод данных по количеству поездок и доставки расписаний движения поездов на борт локомотива

Table

Summary of data on the number of trips and delivery of train schedules on board the locomotive

Месяц	2021 г.			2022 г.			2023 г.		
	Всего поездок	Доставлено на борт	Доля доставленных расписаний, %	Всего поездок	Доставлено на борт	Доля доставленных расписаний, %	Всего поездок	Доставлено на борт	Доля доставленных расписаний, %
1	8977	4522	50,4	10 121	7458	73,7	9413	4710	50,0
2	7963	5894	74,0	8384	6058	72,3	8345	4069	48,8
3	9220	6317	68,5	8717	6382	73,2	9193	4534	49,3
4	9397	6263	66,6	8807	6148	69,8	9209	4144	45,0
5	9693	6753	69,7	9128	6380	69,9	9702	3919	40,4
6	9935	6865	69,1	8678	6077	70,0	9045	3731	41,2
7	9969	6961	69,8	8976	6217	69,3	8828	3690	41,8
8	10 288	7088	68,9	9067	5824	64,2	8955	3614	40,4
9	9914	6001	60,5	8541	4162	48,7	7533	2943	39,1
10	9890	6821	69,0	9053	5954	65,8	9048	3566	39,4
11	10 000	6839	68,4	9111	6038	66,3	8574	3412	39,8
12	10 248	7505	73,2	9364	6220	66,4	8217	3629	44,2
Итого	115 494	77 829	67,4*	107 947	72 918	67,5*	106 062	45 961	43,3*

* Среднее значение за год.

Важно отметить, что за трехгодичный период значения отклонений при отправлении поезда находились в интервале от минус 60 до 60 мин, тогда как отклонения при прибытии поезда — в интервале от минус 509 до 1342 мин. Распределения показывают, что отклонения от расписания движения поезда, доставленного на борт, в подавляющем большинстве составляют более 5 мин.

В целом, подводя итоги комплексного анализа, отметим, что алгоритмы, принципы и подходы к разработке и построению данных систем требуют совершенствования в части автоматизации и оперативности принятия решения (доставки расписания на борт и изменения графика движения поезда в режиме реального времени) в условиях изменяющейся поездной обстановки и параметров движения.

Новые тренды и новые подходы к реализации энергооптимальных режимов движения поездов. В соответствии с классификацией [17], приведенной на рис. 15, можно констатировать, что одним из самых недоизученных и недоисследованных методов расчета энергооптимальных режимов ведения поезда является метод, построенный на методах и алгоритмах машинного обучения и искусственного интеллекта.

В настоящее время перспективность развития и использования данных методов обозначена в государственных и отраслевых нормативных документах:

Указ Президента РФ от 28.02.2024 № 145 «О стратегии научно-технологического развития РФ»;

Транспортная стратегия РФ, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р;

Распоряжение ОАО «РЖД» от 05.12.2018 № 1285 «Концепция реализации комплексного научно-технического проекта “Цифровая железная дорога”»;

Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.12.2016 № 2537р «Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года».

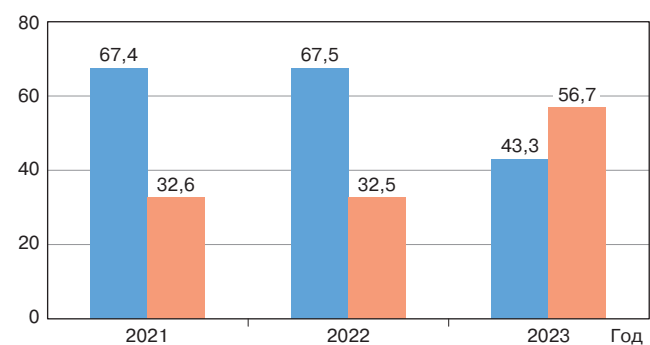


Рис. 8. Доля доставки энергооптимальных расписаний на борт электровоза 2ЭС6:

■ — расписание доставлено на борт; ■ — прочие причины недоставки

Fig. 8. Share of delivery of energy-optimal schedules aboard 2ES6 electric locomotive:

■ — schedule delivered on board; ■ — other reasons for failed delivery

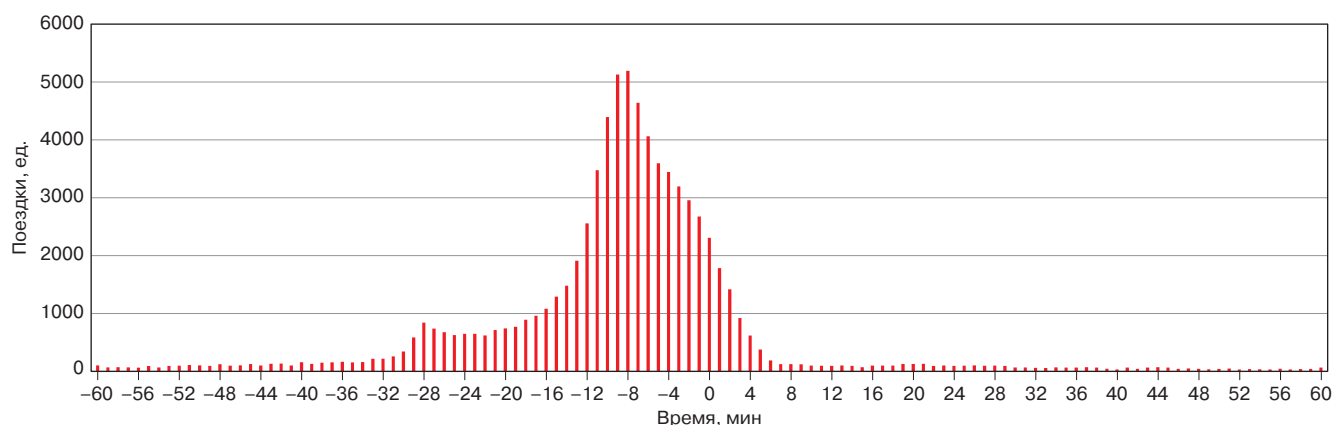


Рис. 9. Гистограмма распределения отклонений времени отправления поезда от доставленных на борт локомотива расписаний движения в заданном интервале за 2021 г.

Fig. 9. Histogram of distribution of train departure time deviations from the schedules delivered aboard the locomotive in the given interval for 2021

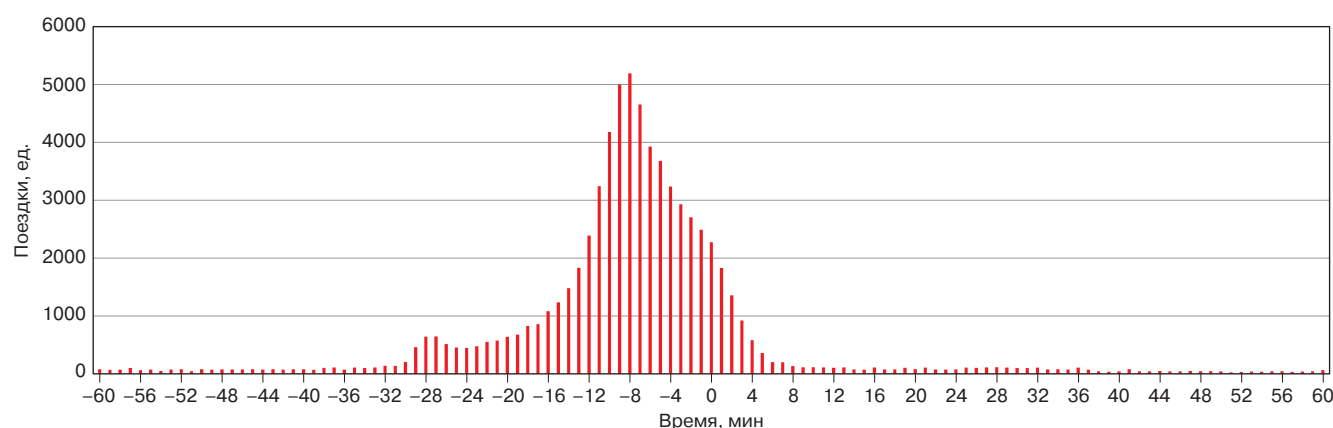


Рис. 10. Гистограмма распределения отклонений времени отправления поезда от доставленных на борт локомотива расписаний движения в заданном интервале за 2022 г.

Fig. 10. Histogram of distribution of train departure time deviations from the schedules delivered aboard the locomotive in the given interval for 2022

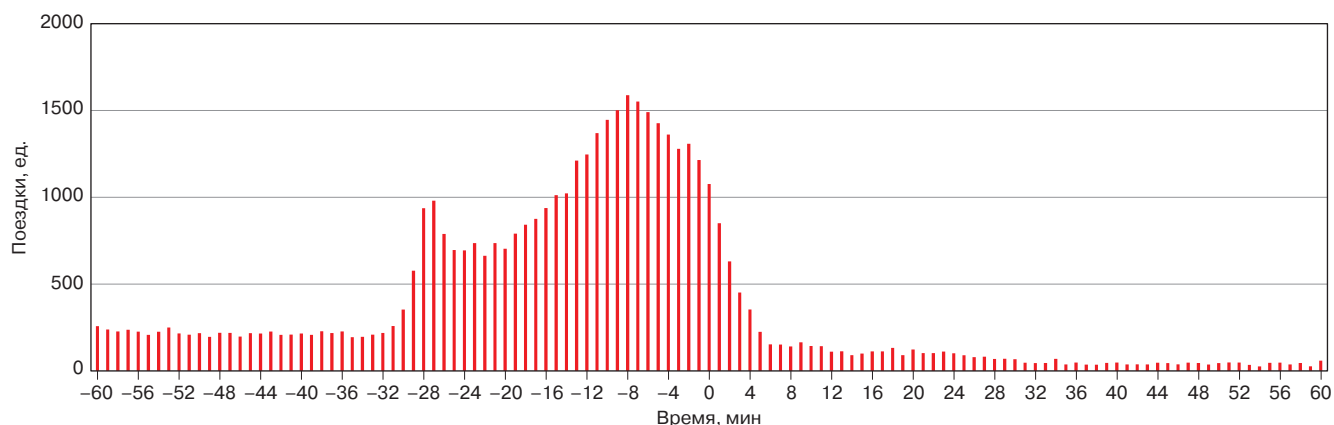


Рис. 11. Гистограмма распределения отклонений времени отправления поезда от доставленных на борт локомотива расписаний движения в заданном интервале за 2023 г.

Fig. 11. Histogram of distribution of train departure time deviations from the schedules delivered aboard the locomotive in the given interval for 2023

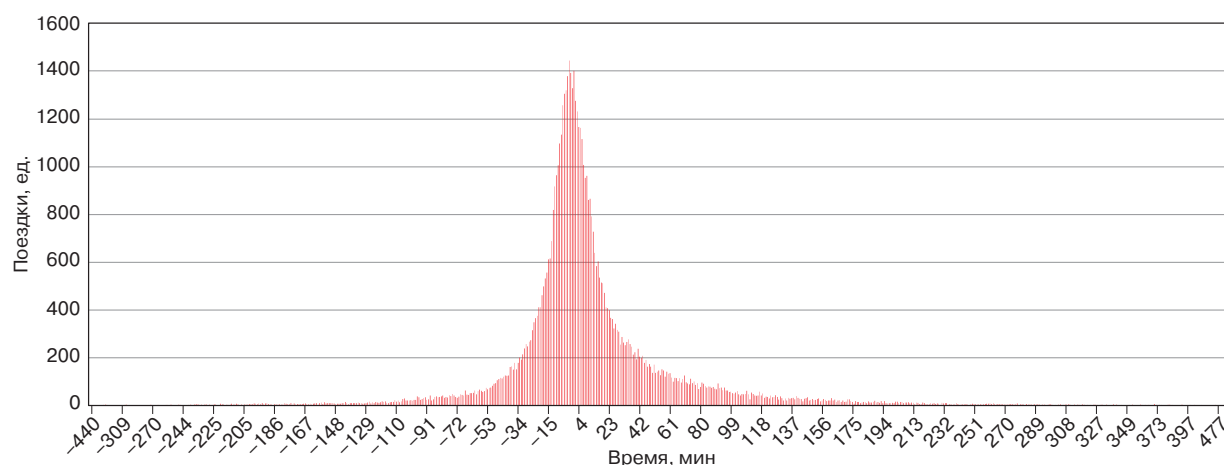


Рис. 12. Гистограмма распределения отклонений времени прибытия поезда от доставленных на борт локомотива расписаний движения в заданном интервале за 2021 г. Составлено авторами по материалам исследования

Fig. 12. Histogram of distribution of train arrival time deviations from schedules delivered aboard the locomotive in the given interval for 2021. Compiled by the authors on the basis of the research materials

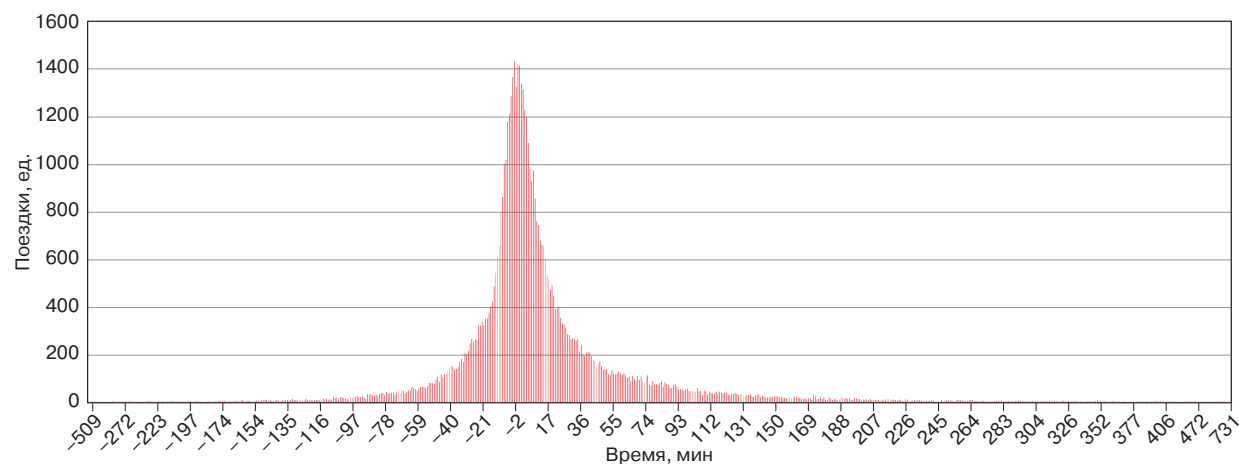


Рис. 13. Гистограмма распределения отклонений времени прибытия поезда от доставленных на борт локомотива расписаний движения в заданном интервале за 2022 г.

Fig. 13. Histogram of distribution of train arrival time deviations from schedules delivered aboard the locomotive in the given interval for 2022

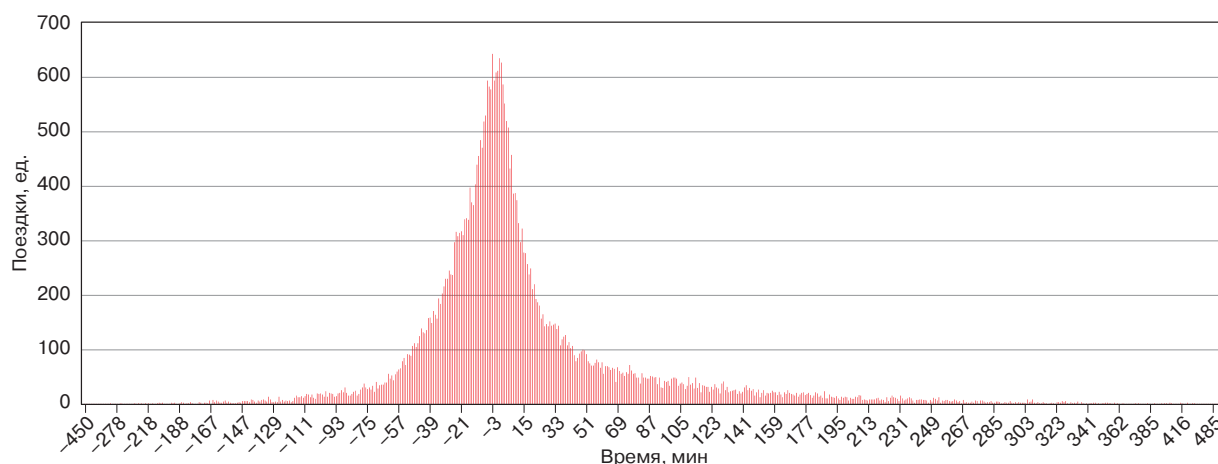


Рис. 14. Гистограмма распределения отклонений времени прибытия поезда от доставленных на борт локомотива расписаний движения в заданном интервале за 2023 г.

Fig. 14. Histogram of distribution of train arrival time deviations from schedules delivered aboard the locomotive in the given interval for 2023

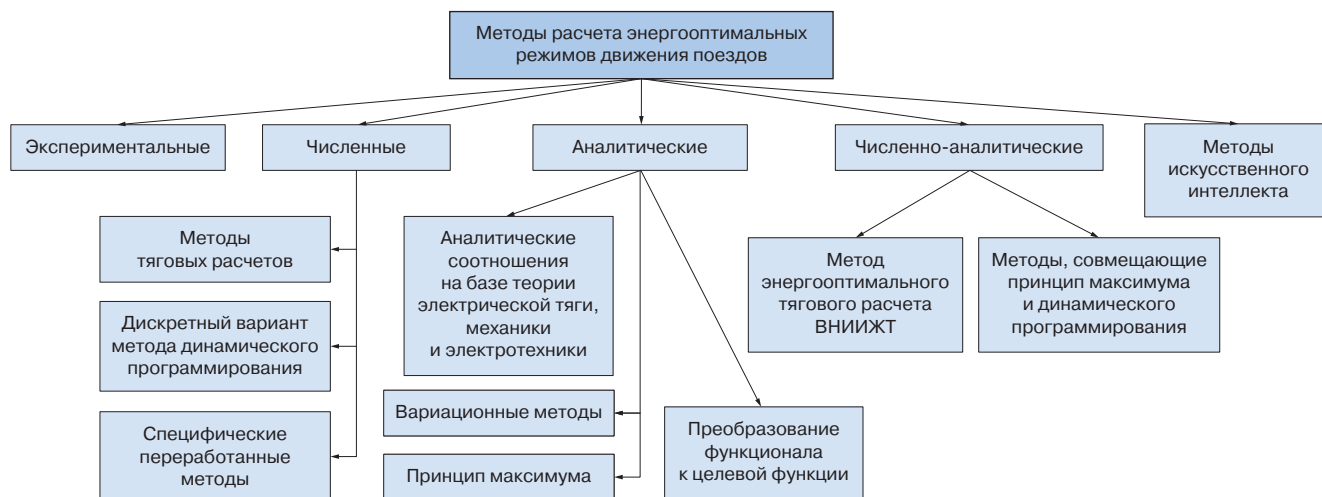


Рис. 15. Классификация методов расчета энергооптимальных режимов движения поездов [17]

Fig. 15. Classification of the methods of calculation of energy-optimal modes of traffic working [17]

Оценка полноты данных с электровозов 2ЭС6.

В целях реализации и использования методов машинного обучения и искусственного интеллекта для построения динамических моделей энергооптимального движения локомотива в режиме реального времени для интеллектуально-адаптивной системы поддержки управления подвижным составом необходимо обладать качественными исходными данными о параметрах движения электроподвижного состава.

Источником исходных данных на электровозе 2ЭС6 являются данные с АРМ РПДА-Г (ООО «АВП Технология») и МСУЛ РПМ (НПО «САУТ»).

Оценим полноту и межсистемную согласованность данных с регистраторов параметров движения. Сбор «сырых» данных с существующих бортовых систем регистрации параметров движения локомотивов 2ЭС6 в ТЧЭ-2 Омск осуществляется в соответствии с положением ОАО «РЖД»¹¹ и разработанным порядком получения, доставки и сдачи маршрутов машиниста, скоростемерных лент, электронных носителей информации и сопроводительных документов к ним в отделение расшифровки.

В соответствии с данным порядком информация, которая фиксируется на картридж на борту локомотива с использованием программного обеспечения системы ИСАВР-РТ, считывается с картриджа специальным считывающим устройством (рис. 16).

Информация, которая содержится на картридже, расшифровывается в отделении расшифровки техниками с помощью АРМ РПДА-Г, которая запускается через АСУТ НБД-2.

Стоит отметить, что на 2ЭС6 система автоведения представляет собой программу в блоке монитора электровоза. На 2ЭС6, в отличие от всех других серий электровозов, у компании АВП «Технология» нет своей системы сбора данных. Все данные о работе тяговых электродвигателей и другие параметры регистрируются и поступают исключительно по данным МПСУИД.

В результате в извлекаемых данных наблюдается следующее:

- фиксируется ток каждой пары электродвигателей;
- не фиксируется ток собственных нужд;
- не фиксируются значения электроэнергии, потребленной на собственные нужды, тягу и возврат электроэнергии в контактную сеть.

С учетом представленных ограничений проведение анализа и разработки энергосберегающих мероприятий по данным РПДА-Г машинистом-инструктором по теплотехнике невозможно без проведения дополнительных трудоемких мероприятий.

Еще одним источником информации о параметрах работы электровозов 2ЭС6 являются файлы РПМ, которые формируются регистратором параметров работы МПСУИД (РПМ).

Стоит отметить, что файлы РПМ не формируются в ТЧЭ-2 Омск и поэтому недоступны для оперативного анализа техникам-расшифровщикам и машинисту-инструктору по теплотехнике. Файлы РПМ поступают только в подразделение НПК СО (дочерняя компания НПО «САУТ»), которое базируется в сервисном локомотивном депо (СЛД) Москва

¹¹ Положение об организации расшифровки параметров движения локомотивов [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 19.02.2019 № 296р. Доступ из АСПИЖТ.

(СТМ-Сервис). Расшифровка данных файлов осуществляется с помощью программы РПМ.

При этом стоит отметить, что файлы РПМ с электровоза 2ЭС6 поступают в СЛД Москва только с тех электровозов, на которых возникают различные неисправности (как правило, это электровозы, которые заходят на неплановый вид ремонта в депо). Большая же часть файлов РПМ, которая находится на исправных локомотивах, со временем бесследно исчезает, так как объем памяти регистратора параметров движения 2ЭС6 позволяет записывать и хранить информацию не более 7 сут.

После съема файлов РПМ с электровозов 2ЭС6 в подразделении НПК СО проводится расшифровка данных и формируется заключение о причинах отказов того или иного оборудования электровоза 2ЭС6. Информация, представленная в файлах РПМ, никак не используется с точки зрения анализа эксплуатационных показателей работы электровозов 2ЭС6, в том числе анализа энергосберегающих режимов работы.

В целом можно отметить следующие недостатки при расшифровке данных с регистраторов параметров движения 2ЭС6:

- не позволяет определить точное время начала и конца поездки и ее параметры;
- информация файла регистратора не привязана к поездкам локомотивных бригад, что затрудняет их идентификацию без использования данных сторонних систем;
- выгрузка результатов измерений осуществляется по мере изменения электрических параметров;
- не фиксирует значения электроэнергии, потребленной на собственные нужды, тягу и возврат электроэнергии в контактную сеть, с привязкой к конкретной поездке и табельному номеру машиниста;
- пройденное расстояние определяется на основании диаметра бандажа колесной пары, а не по данным системы GPS/ГЛОНАСС;
- отсутствует беспроводная передача данных на сервер сбора информации;
- экспорт производится не всего файла картриджа целиком, а только определенного «фрагмента», причем количество и длина этих «фрагментов» для двух секций одного электровоза могут различаться;
- интервал записи измеряемых величин в экспортируемом файле не является постоянным и в пределах одного временного отрезка может меняться от сотых долей секунды до нескольких минут, причем для двух секций одного электровоза эти временные интервалы не совпадают;
- объема памяти достаточно для хранения информации сроком до 7 сут, после чего данные последовательно перезаписываются на новые;
- сбор данных производится преимущественно перед заходом локомотива на текущий и внеплановый ремонт, в противном случае данные не используются;

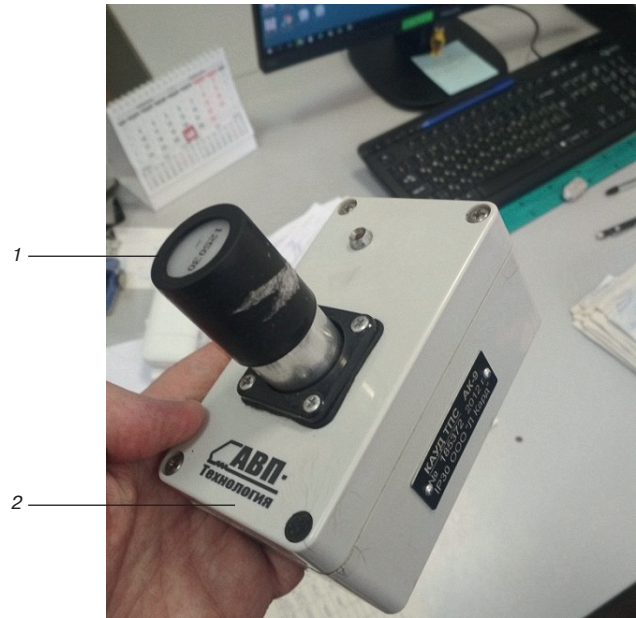


Рис. 16. Картридж с информацией и считывающее устройство ИСАВП-РТ компании АВП «Технология»:
1 — съемный носитель (картридж); 2 — считывающее устройство

Fig. 16. Information cartridge and reading device ISAVP-RT of AVP Technology:

1 — removable medium (cartridge); 2 — reading device

- трудоемкость проведения экспорта, ограниченные возможности пользователя в настройке перечня и формата выходных данных;
- экспорт результатов измерений возможен лишь в формат txt.

На основании проведенных экспериментов по обработке данных с помощью АРМ РПДА-Г и АРМ РПМ можно сделать вывод, что наиболее целесообразным для построения динамических моделей энергооптимального движения локомотива в режиме реального времени для интеллектуально-адаптивной системы поддержки управления подвижным составом с применением методов и алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта является использование данных АРМ РПДА-Г, так как именно эти данные содержат точные значения географических координат, что позволяет синхронизировать измерения по различным поездкам на определенном участке.

Описание предлагаемого решения на основе машинного обучения и искусственного интеллекта. На основании полученных данных будет сформирована интеллектуально-адаптивная система поддержки управления подвижным составом с применением методов и алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта. В основе данной системы будет лежать настроенная искусственная рекуррентная нейронная сеть на долгой краткосрочной памяти LSTM (рис. 17) или иная система искусственного интеллекта.

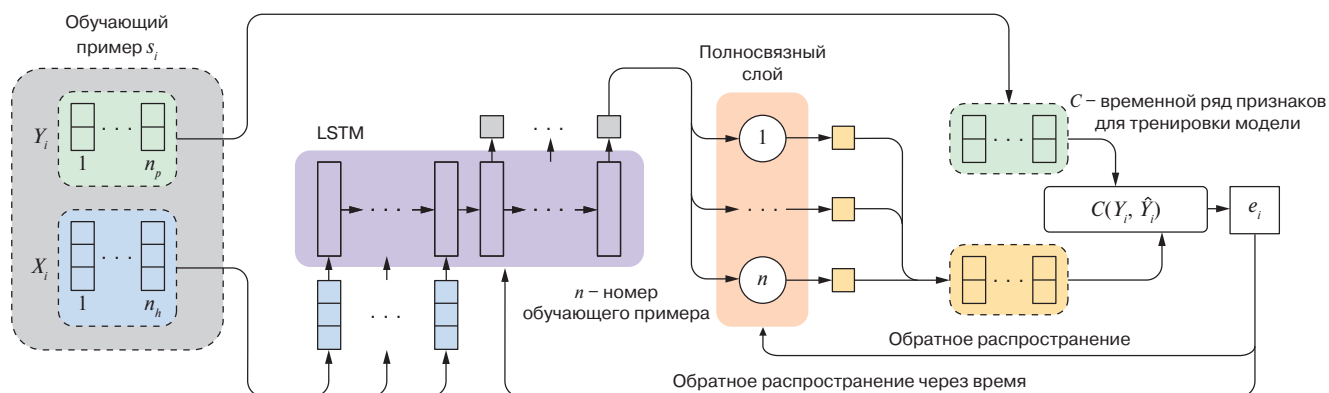


Рис. 17. Структурная схема искусственной рекуррентной нейронной сети на долгой краткосрочной памяти LSTM:
 ■ — обучающий признак; ■ — прогнозируемый признак; ■ — выходные значения LSTM-блока; ■ — прогноз

Fig. 17. Structural diagram of artificial recurrent neural network on long short-term memory LSTM:
 ■ — training feature; ■ — predicted feature; ■ — output values of the LSTM block; ■ — forecast

Для работы системы необходимо обучить нейронную сеть. Для этого используются данные из РПДА-Г, которые можно представить многомерными временными рядами Y_i и X_i [18, 19]. Для обучения модели из описывающего поездку временного ряда методом скользящего окна формируется множество обучающих примеров s_i , каждый из которых представляет собой пару (x, y) . Для формирования x и y производится срез временного ряда X шириной w и из него осуществляется последовательная выборка измерений, после чего окно сдвигается на величину g и формируется следующий обучающий пример. Данная операция повторяется до достижения необходимого количества примеров либо до исчерпания измерений. Ширина окна w определяется по следующей формуле:

$$w = w_h + w_p + g, \quad (6)$$

где w_h — ширина окна тренировки, определяющаяся как $w_h = (n_h - 1)s_h + 1$; w_p — ширина окна прогноза, определяющаяся как $w_p = (n_p - 1)s_p + 1$; g — ширина отступа между окнами тренировки и прогноза; n_h — число наблюдений в тренировочном окне; s_h — ширина отступа между тренировочными наблюдениями; n_p — число прогнозируемых наблюдений в обучающем примере; s_p — ширина отступа между прогнозируемыми наблюдениями.

Отличие предлагаемой авторами системы от существующих заключается главным образом в ее способности обрабатывать информацию в режиме реального времени без участия оператора (человека) и предлагать вариативные решения поставленных перед ней задач.

Предложенная интеллектуально-адаптивная система будет иметь следующие эффекты:

- позволит на основании реальных данных о работе локомотива выдавать рекомендованные значения уставок силы тяги и торможения;

- позволит проводить оценку удельного расхода электроэнергии локомотивом и оперативно информировать машиниста об эффективности выбранных им технологических режимов эксплуатации;

- последнее, предположительно, позволит (по расчетным данным) снизить значения удельного расхода электроэнергии локомотивами за счет исключения перерегулирования.

Обсуждение и заключение. По итогам проведенного исследования цель работы была достигнута и сформулированы следующие выводы:

1. Анализ эффективности применения систем автоведения электровозов 2ЭС6 показал, что преимущественно используется режим «Советчик» (более 80 %) в системе автоведения АО «ВНИИЖТ»; в системе ИСАВП-РТ ООО «АВП Технология» преимущественно используется режим «Подсказка» (более 70 %).

2. Установлено, что от 60 до 40 % энергооптимальных расписаний не доставляется на борт электровоза серии 2ЭС6.

3. Установлено, что за трехгодичный период значения отклонений от расписания движения при отправлении поезда находились в интервале от минус 60 до 60 мин, тогда как отклонения при прибытии поезда — в интервале от минус 509 до 1342 мин. Распределения показывают, что отклонения от расписания движения поезда, доставленного на борт, в подавляющем большинстве составляют более 5 мин.

4. Установлено, что одним из самых недоисследованных и недоисследованных методов расчета энергооптимальных режимов ведения поезда является метод, построенный на методах и алгоритмах машинного обучения и искусственного интеллекта.

5. На основании проведенных экспериментов по обработке данных с помощью АРМ РПДА-Г и АРМ

РПМ можно сделать вывод, что наиболее целесообразным для построения динамических моделей энергооптимального движения локомотива в режиме реального времени для интеллектуально-адаптивной системы поддержки управления подвижным составом с применением методов и алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта является использование данных АРМ РПДА-Г, так как именно эти данные содержат точные значения географических координат, что позволяет синхронизировать измерения по различным поездкам на определенном участке.

6. Сформулирована гипотеза о том, что интеллектуально-адаптивная система поддержки управления подвижным составом с применением методов и алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта позволит снизить значения удельного расхода электроэнергии локомотивами.

Основным направлением дальнейших исследований является повышение энергетической эффективности магистральных грузовых электровозов путем повышения эффективности их использования за счет совершенствования бортовых систем автоведения и поддержки принятия решений посредством применения интеллектуальных систем выработки оптимальных эксплуатационных режимов.

Благодарности: авторы выражают особую признательность сотрудникам компании ООО «АВП Технология» за содержательные консультации и предоставленную информацию по специфике работы систем автоведения на электровозах 2ЭС6. Благодарим также начальника эксплуатационного локомотивного депо ТЧЭ-2 Омск Максима Геннадьевича Лаптева за возможность проведения глубокого анализа эксплуатационных данных электровозов серии 2ЭС6, оборудованных системой ИСАВРТ-РТ.

Acknowledgments: the authors express gratitude to the employees of the company AVP Technology LLC for the meaningful consultations and information provided on the specifics of the operation of auto guidance systems on electric locomotives 2ES6. We also thank the head of the operational locomotive depot ТЧЭ-2 Omsk Maxim G. Laptev for the opportunity to conduct an in-depth analysis of the operational data of electric locomotives of the 2ES6 series equipped with the ISAVPT-RT system.

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта ОАО «РЖД» для молодых ученых на проведение научных исследований, направленных на создание новой техники и технологий для применения на железнодорожном транспорте от 31.01.2024 г. № 5549635.

Finding: the research was carried out at the expense of a grant from JSC Russian Railways for young scientists to conduct scientific research aimed at creating new equipment and technologies for use in railway transport dated 31.01.2024. No. 5549635.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Худорожко М. В., Елисеев И. А., Стельмашенко А. В. Система, обеспечивающая вождение соединенных поездов одной локомотивной бригадой // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2024. № 1 (65). С. 28–31. EDN: <https://elibrary.ru/kuikgx>.
2. Худорожко М. В., Елисеев И. А., Стельмашенко А. В. Реализация технических решений для вождения соединенного поезда одной локомотивной бригадой (САУ-ОП) // Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт: сб. материалов II Междунар. конф., Москва, 24–25 августа 2023 г. М.: Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, 2023. С. 304–310. EDN: <https://elibrary.ru/aodtgv>.
3. Худорожко М. В., Елисеев И. А., Стельмашенко А. В. Implementation of technical solutions for driving a coupled train by one locomotive crew (SAU-OP). In: *Science 1520 VNIIZhT: Look beyond the horizon: Collection of proceedings of II International conf., Moscow, 24–25 August 2023*. Moscow: Railway Research Institute; 2023. p. 304–310. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/aodtgv>.
4. Худорожко М. В., Елисеев И. А., Муров С. А., Стельмашенко А. В., Лантсов А. П. AV-RT system: heading towards unmanned technologies. *Lokomotiv*. 2020;(2):11–13. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ywxtad>.
5. Елисеев И. А., Хазов М. С., Худорожко М. В. Оперативное определение фактического коэффициента сцепления колес локомотива с рельсами // Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта: материалы Всерос. науч.-практ. конф. к 75-летию аспирантуры Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, Москва, 5 июня 2019 г. М.: РАС, 2019. С. 151–159. EDN: <https://elibrary.ru/pvzysp>.
6. Елисеев И. А., Хазов М. С., Худорожко М. В. In-process determination of actual coefficient of traction of locomotive wheels with rails. In: *Major issues of rail transport development: sourcebook of the All-Russian scientific and practical conf. for the 75th Anniversary of the postgraduate programme of the Railway Research Institute, Moscow, 5 June 2019*. Moscow: RAS Publ.; 2019. p. 151–159. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/pvzysp>.
7. Елисеев И. А. Повышение энергоэффективности процесса управления электровозом посредством оперативного уточнения сил тяги и электрического торможения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. М., 2013. 26 с. EDN: <https://elibrary.ru/sioirj>.
8. Елисеев И. А. Increase of energy efficiency of the electric locomotive control by in-process specification of traction forces and electric braking: *Cand. Sci. (Eng.) thesis synopsis: 05.22.07*. Moscow; 2013. 26 p. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/sioirj>.
9. Жебрак Л. М., Елисеев И. А. Методика оперативного уточнения действующей силы тяги локомотива на поезд // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2012. № 4. С. 38–42. EDN: <https://elibrary.ru/pbeumr>.
10. Жебрак Л. М., Елисеев И. А. Methods of real-time adjustment of tractive effort acting from locomotive to train. *Russian Railway Science Journal*. 2012;(4):38–42. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/pbeumr>.
11. Елисеев И. А. Тенденции развития систем автоведения // Совершенствование электрооборудования тягового подвижного состава: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. В. А. Кучумова, Н. Б. Никифоровой. М.: Интекст, 2011. С. 38–45. EDN: <https://elibrary.ru/spiqit>.
12. Елисеев И. А. Trends in the development of auto-driving systems. In: Kuchumov V. A., Nikiforova N. B. (eds) *Improvement of tractive rolling stock electrical equipment: Collection of scientific works of the Railway Research Institute*. Moscow: Intext Publ.; 2011. p. 38–45. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/spiqit>.

8. Жебрак Л. М., Елисеев И. А. Постановка задачи оперативного уточнения действующей на поезд силы тяги в процессе движения // Перспективные задачи развития железнодорожного транспорта: сб. ст. молодых ученых и аспирантов ВНИИЖТ. М.: Интекст, 2010. С. 35–39. EDN: <https://elibrary.ru/tajeur>.

Zhebrak L. M., Eliseev I. A. Setting of the problem of in-process specification of the traction force acting on the train in motion. In: *Prospects of railway transport development: Collection of articles of young scientists and postgraduates of the Railway Research Institute*. Moscow: Intext Publ.; 2010. p. 35–39. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/tajeur>.

9. Елисеев И. А. Стохастическая модель силы тяги локомотива // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2010. № 4. С. 30–33. EDN: <https://elibrary.ru/mvcrxt>.

Eliseev I. A. Stochastic model of locomotive's tractive effort. *Russian Railway Science Journal*. 2010;(4):30-33. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/mvcrxt>.

10. Елисеев И. А., Худорожко М. В., Жебрак Л. М. Метод оценки переменных с минимальной дисперсией // Мир транспорта. 2009. Т. 7, № 1 (25). С. 28–32. EDN: <https://elibrary.ru/jybzh>.

Eliseev I. A., Hudorozhko M. V., Zhebrak L. M. Method of variable estimation with minimum dispersion. *World of Transport and Transportation*. 2009;7(1):28-32. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/jybzh>.

11. Инновационный проект «Эльбрус» / Л. А. Мугинштейн [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2013. № 12. С. 18–25. EDN: <https://www.elibrary.ru/rmtbfp>.

Muginshteyn L. A., Vinogradov S. A., Kiryakin V. Yu., Lyashko O. V., Anfinogenov A. Yu., Yabko I. A. Elbrus Innovations Project. *Zhelezнодороzhnyy transport*. 2013;(12):18-25. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/rmtbfp>.

12. Полигонные технологии движения поездов по графикам на основе автоматизированной системы «Эльбрус» / Л. А. Мугинштейн [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2015. № 3. С. 13–19. EDN: <https://elibrary.ru/tkirfp>.

Muginshteyn L. A., Vinogradov S. A., Kiryakin V. Yu., Lyashko O. V., Anfinogenov A. Yu., Novgorodtseva A. V. Polygon technologies of scheduled train traffic based on the Elbrus Automated System. *Zhelezнодороzhnyy transport*. 2015;(3):13-19. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/tkirfp>.

13. Мугинштейн Л. А., Виноградов С. А., Ябко И. А. Энергооптимальный тяговый расчет движения поездов // Железнодорожный транспорт. 2010. № 2. С. 24–29. EDN: <https://elibrary.ru/oyseib>.

Muginshteyn L. A., Vinogradov S. A., Yabko I. A. Energy-optimal traction calculation of train traffic. *Zhelezнодороzhnyy transport*. 2010;(2):24-29. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/oyseib>.

14. Мугинштейн Л. А., Илютович А. Е., Ябко И. А. Энергооптимальные методы управления движением поездов: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ». М., 2012. С. 79. EDN: <https://elibrary.ru/qnxwzz>.

Muginshteyn L. A., Ilyutovich A. E., Yabko I. A. *Energy-optimal methods of train traffic control: Collection of scientific works of the Railway Research Institute*. Moscow; 2012. p. 79. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/qnxwzz>.

15. Мугинштейн Л. А., Илютович А. Е., Ябко И. А. Энергооптимальный тяговый расчет движения поезда // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2013. № 6. С. 3–13. EDN: <https://elibrary.ru/tolgrt>.

Muginshteyn L. A., Ilyutovich A. E., Yabko I. A. Minimum energy consumption based train performance calculation. *Russian Railway Science Journal*. 2013;(6):3-13. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/tolgrt>.

16. Современная методология технического нормирования расхода топливно-энергетических ресурсов локомотивами на тягу поездов / Л. А. Мугинштейн [и др.]. М.: ВМГ-Принт, 2014. 144 с. EDN: <https://elibrary.ru/vtznns>.

Muginshteyn L. A., Molchanov A. I., Vinogradov S. A., Popov K. M., Shkol'nikov E. N. *Modern methodology of technical rationing of fuel and energy consumption by locomotives for train traction*. Moscow: VMG-Print Publ.; 2014. 144 p. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/vtznns>.

17. Юренко К. И. Исследование методов оптимизации режимов ведения поезда с использованием интеллектуальной имитационной модели // Интеллектуальные системы управления на

железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2018): тр. Седьмой науч.-техн. конф., Москва, 14 ноября 2018 г. М.: Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте, 2018. С. 236–240. EDN: <https://elibrary.ru/sqsnsv>.

Yurenko K. I. Study of methods for optimising train driving modes using a smart simulation model. In: *Smart control systems on railway transport. Computer and mathematical modelling (ISUZhT–2018): Proceedings of the Seventh Scientific and Technical Conf., Moscow, 14 November 2018*. Moscow: Research and Design Institute of Informatization, Automation and Communication on Railway Transport; 2018. p. 236–240. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/sqsnsv>.

18. Cuéllar M., Delgado M., Pegalajar M. An application of non-linear programming to train recurrent neural networks in time series prediction problems. In: Chen C.-S., Filipe J., Seruca I., Cordeiro J. (eds) *Enterprise Information Systems VII*. Dordrecht: Springer; 2007. p. 95–102. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5347-4_11.

19. Zhuang N., Qi G.-J., Kieu T. D., Hua K. A. Rethinking the Combined and Individual Orders of Derivative of States for Differential Recurrent Neural Networks. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*. 2019;15(3):1-21. <https://doi.org/10.1145/3337928>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Станислав Геннадьевич ИСТОМИН,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры подвижного состава электрических железных дорог, Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС, 644046, г. Омск, пр. Маркса, д. 35), Author ID: 847326, <https://orcid.org/0000-0002-5243-1035>

Кирилл Иванович ДОМАНОВ,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры подвижного состава электрических железных дорог, Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС, 644046, г. Омск, пр. Маркса, д. 35), Author ID: 950747, <https://orcid.org/0000-0002-2627-4179>

Андрей Петрович ШАТОХИН,

канд. техн. наук, доцент, директор, Институт электрического транспорта и систем энергообеспечения, Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС, 644046, г. Омск, пр. Маркса, д. 35), Author ID: 915992, <https://orcid.org/0000-0001-6259-8018>

Илья Николаевич ДЕНИСОВ,

заведующий лабораториями, кафедра подвижного состава электрических железных дорог, Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС, 644046, г. Омск, пр. Маркса, д. 35), Author ID: 1112608, <https://orcid.org/0000-0001-5951-7328>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Stanislav G. ISTOMIN,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Electrical Railway Rolling Stock Department, Omsk State Transport University (644046, Omsk, 35, Marx Ave.), Author ID: 847326, <https://orcid.org/0000-0002-5243-1035>

Kirill I. DOMANOV,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Electrical Railway Rolling Stock Department, Omsk State Transport University (644046, Omsk, 35, Marx Ave.), Author ID: 950747, <https://orcid.org/0000-0002-2627-4179>

Andrey P. SHATOKHIN,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Director, Institute of Electric Transport and Power Supply Systems, Omsk State Transport University (644046, Omsk, 35, Marx Ave.), Author ID: 915992, <https://orcid.org/0000-0001-6259-8018>

Il'ya N. DENISOV,

Head of Laboratories, the Electrical Railway Rolling Stock Department, Omsk State Transport University (644046, Omsk, 35, Marx Ave.), Author ID: 1112608, <https://orcid.org/0000-0001-5951-7328>

ВКЛАД АВТОРОВ

Станислав Геннадьевич ИСТОМИН. Постановка задач исследования и формулирование методологических основ работы. Планирование экспериментов и обработка полученных результатов (25%).

Кирилл Иванович ДОМАНОВ. Методика определения законов распределения дискретных случайных величин. Редактирование и подготовка текста рукописи (25%).

Андрей Петрович ШАТОХИН. Концепция построения рекуррентной нейронной сети для перспективной системы автоведения (25%).

Илья Николаевич ДЕНИСОВ. Обработка статистических данных с вычислителей микропроцессорной системы управления локомотивом и диагностики и интеллектуальной системы автоматизированного вождения поездов повышенной массы и длины с распределенными по длине локомотивами (25%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Stanislav G. ISTOMIN. Setting of the research tasks and formulation of the methodological basis of the work. Planning the experiments and processing of the results (25%).

Kirill I. DOMANOV. Methodology of determination of distribution laws of discrete random variables. Follow-on revision of the text (25%).

Andrey P. SHATOKHIN. The concept of recurrent neural network construction for the prospective auto-driving system (25%).

Il'ya N. DENISOV. Processing of statistical data from the calculators of the microprocessor system of locomotive control and diagnostics and the smart system of automated train handling of increased mass and length with locomotives distributed along the length (25%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 20.06.2024, рецензия от первого рецензента получена 24.06.2024, рецензия от второго рецензента получена 01.07.2024, принята к публикации 28.08.2024.

The article was submitted 20.06.2024, first review received 24.06.2024, second review received 01.07.2024, accepted for publication 28.08.2024.



ПАТЕНТЫ ВНИИЖТ

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ ВОЗДУХА В ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

С. Н. Науменко, А. А. Крылов, П. О. Мусерский

Заявляемые решения относятся к автоматической коррекции рабочего режима преобразователя частоты вентилятора в зависимости от изменения физических параметров воздушного потока при обеспечении заданной скорости. Решения обеспечивают повышение надежности и достоверности учета изменений физических параметров воздушного потока для поддержания заданного расхода воздуха, пропорционального массовому расходу, что позволяет при сохранении нормированного потока воздуха уменьшить потребление электроэнергии. В способе управления потоком воздуха в вентиляционной установке определяют параметры потока воздуха вентиляционной установки, для чего задают образцовое напряжение потока воздуха U_{ref} , измеряют температуру потока воздуха в воздуховоде, его статическое и динамическое давление, на основании которых определяют скорость воздушного потока воздуха, преобразуют ее в напряжение постоянного тока U_v с U_{ref} и

по результатам формируют выходной электрический сигнал, поступающий на преобразователь постоянного напряжения в частоту управления и питания асинхронного двигателя вентилятора в воздуховоде для автоматической коррекции рабочего режима вентилятора, причем устройство управления потоком воздуха в вентиляционной установке содержит преобразователь скорости потока воздуха в напряжение постоянного тока, источник образцового напряжения и усилитель разности напряжений, датчик температуры и датчик динамического давления.

Патент на изобретение RU 2824693 C1, 12.08.2024.

Заявка № 2023118010 от 07.07.2023.

По вопросам использования интеллектуальной собственности обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, Научно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (495) 602-83-01, e-mail: journal@vniizht.ru, www.vniizht.ru