

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья

УДК 629.423.14

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

Анализ энергетических затрат на выполняемую электровозами маневровую работу

К. М. Попов✉

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Задачу повышения энергетической эффективности маневровой работы на электрифицированных станциях с научной точки зрения целесообразно решать путем постепенной замены маневровых тепловозов на перспективные контактно-аккумуляторные маневровые электровозы. При обсуждении вопроса об использовании таких локомотивов важно учесть достигнутые в эксплуатации показатели энергозатрат при выполнении маневровой работы магистральными электровозами существующих серий.

Материалы и методы. Использованы статистические методы для анализа данных о расходе электроэнергии из маршрутов машиниста за 2023 г. Выполнена обработка данных от бортовых комплексов регистрации у электровозов, задействованных в маневровой работе, по отдельным рабочим сменам машиниста. Исследовалась связь энергозатрат на выполнение маневровой работы с температурой атмосферного воздуха.

Результаты. Определены особенности расхода электроэнергии при выполнении электровозами маневровой работы, показаны результаты эксплуатации различных серий электровозов в части энергопотребления. Учен фактор температуры воздуха при нормировании электроэнергии на маневры, предложен порядок расчета нормативного расхода электроэнергии с использованием данных бортовых комплексов регистрации.

Обсуждение и заключение. Полученные в исследовании результаты позволили определить диапазон значений расхода электроэнергии на маневровую работу, выполняемую электровозами в текущих условиях эксплуатации. Отмеченный широкий диапазон нагрузок на маневровой работе должен учитываться при разработке перспективных маневровых электровозов. Актуальность их создания связана в том числе с неполным соответствием характеристик используемых магистральных электровозов особенностям маневровой работы. В части последних важным является обоснованный выбор наиболее подходящей для маневровой работы серии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: маневровая работа, электровоз, часовой расход электроэнергии, маршрут машиниста, коэффициент влияния температуры, нормирование, бортовые комплексы регистрации

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Попов К. М. Анализ энергетических затрат на выполняемую электровозами маневровую работу // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 4. С. 319–335.

✉ popov.kirill@vniizht.ru (К. М. Попов)

© Попов К. М., 2024



TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 629.423.14

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



Analysis of energy costs for shunting operations performed by electric locomotives

Kirill M. Popov✉

Railway Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Scientifically, energy efficiency of shunting operations at electrified stations should be improved by gradual replacement of diesel shunters with advanced contact-accumulator electric shunters. The discussion of the use of such locomotives should take into account the power consumption figures achieved by mainline electric locomotives of the existing series in shunting operations.

Materials and methods. The paper uses statistical methods to analyse power consumption on driver's routes for 2023 and processes registered on-board data of electric locomotives involved in shunting operations for individual driver's shifts. The work investigates the relationship between power consumption for shunting operations and atmospheric air temperature.

Results. The paper determines the peculiarities of power consumption in shunting operations of electric locomotives, and provided power consumption figures in operation of different series of electric locomotives. The work considers the air temperature factor when rationing electricity for shunting, and proposes an on-board data based procedure for power consumption rationing.

Discussion and conclusion. The study indicates the range of power consumed by electric locomotives for shunting operations under current operating conditions. This wide range of shunting loads should be taken into account in the design of advanced electric shunters. The need for their creation is also caused by the incomplete correspondence between the characteristics of the mainline electric locomotives used and the shunting conditions. The latter also calls for a reasonable choice of the most suitable series for shunting work.

KEYWORDS: shunting operation, electric locomotive, hourly power consumption, driver schedule, temperature coefficient, rationing, on-board registration complexes

FOR CITATION: Popov K. M. Analysis of energy costs for shunting operations performed by electric locomotives. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(4):319-335. (In Russ.).

✉ popov.kirill@vniizht.ru (K. M. Popov)

© Popov K. M., 2024

Введение. Для выполнения маневровой работы на станциях в большинстве случаев используются автономные локомотивы. Это связано с отсутствием контактного провода над всеми путями станций, на которых может потребоваться выполнение маневровых операций. Однако немало крупных станций электрифицировано практически полностью, что позволяет выполнять основную долю маневровой работы с использованием энергетически и экономически более выгодной электрической тяги [1]. В последние годы ведущие ученые отрасли предлагают возобновить производство контактно-аккумуляторных маневровых электровозов [2–5], первый опыт использования которых в 60-е гг. [6] показал их значительные преимущества. К сожалению, существовавший на тот момент уровень развития техники не позволил перейти к массовому использованию таких локомотивов. При этом существует практикуемый вплоть до настоящего времени опыт использования магистральных электровозов для маневровой работы, результаты которого изучены недостаточно. В настоящем исследовании предпринята попытка восполнить данный пробел.

При планировании и анализе выполнения маневровой работы существенную роль играет контроль связанных с этим энергозатрат. И если для автономной тяги данный вопрос в методическом плане в значительной мере проработан [7–10], то в плане электрической тяги существуют только усредненные часовые нормативы расхода электроэнергии по сериям¹, которые не учитывают возможной неравномерности заданий по переработке вагонов на станциях (как суточной, так и в течение более длительных периодов времени). Анализ данных в маршрутах машиниста из автоматизированной системы централизованной обработки маршрутов машиниста (АС ЦОММ) за период с января по декабрь 2023 г., выполненный в рамках исследования, показал, что в настоящее время часовой расход электроэнергии на маневровую работу для разных станций может отличаться более чем в 6,5 раза. В современных условиях, когда требования к энергоэффективности перевозочного процесса ужесточаются, необходимы более точные оценки текущих энергозатрат. Последние могут быть получены с использованием данных от бортового комплекса регистрации параметров работы электровоза.

В настоящей статье рассматриваются результаты анализа существующих затрат электроэнергии на маневровую работу и подходы к оценке и нормированию расхода электроэнергии при ее выполнении.

Теоретические предпосылки. Расчетный расход электроэнергии при маневровой работе. Расчетный расход электроэнергии на маневровую работу принципиально может быть получен двумя способами. Первый связан с выполнением специализированных тяговых расчетов^{2, 3} [7, 11], второй основан на предварительно полученных аналитических выражениях, используемых при известной касательной мощности, реализуемой локомотивом, или известной массе маневрового состава [6]. В части первого способа стоит отметить сферу действия существующих методик, ограниченную исключительно дизельной тягой, а также значительную трудоемкость выполнения расчетов, даже при наличии специализированного комплекса программ. Актуальность адаптации методики тяговых расчетов для электрической тяги не очевидна. Например, опыт внедрения обоснованных норм расхода топлива для маневровых тепловозов в депо Свердловск-Сортировочный на основе расчетов по Методике⁴ описан в [12].

Следует обратить особое внимание на приведенный в данной статье перечень основных подготовительных этапов, необходимых до начала расчетов, а именно:

- определение параметров работы маневрового района и разработка нескольких типовых моделей операций, определяющих загрузку тепловоза по массе составов, количеству вагонов, числу маневровых полурейсов и их длине, распределению частоты этих операций;
- описание профиля, плана и стрелочных путей маневрового района, создание справочников путей маневровых операций, частоты передвижения по путям и определения частоты типовых операций по каждому пути.

Как видно, объем подготовительной работы, особенно в части создания нормативно-справочной информации (НСИ) по плану и профилю станционных путей, до начала выполнения расчетов довольно значительный и требует соответствующих немалых трудовых и финансовых затрат. То есть данный способ применим там, где подготовительные работы уже выполнены, например на станциях, где внедрена система маневровой автоматической локомотивной сигнализации (МАЛС).

¹ Инструкция по техническому нормированию расхода электрической энергии и топлива тепловозами на тягу поездов: № ЦТ-2564 / Главное управление локомотивного хозяйства МПС. М.: Транспорт, 1968. 48 с.

² Методика тяговых расчетов для маневровой работы: № ЦДЛ-21: утв. начальником главного управления движением МПС СССР 15.12.1987. М., 1988.

³ Методика тяговых расчетов для маневровой работы [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 30.01.2017 № 181р. Доступ из АСПИЖТ.

⁴ Методика тяговых расчетов для маневровой работы: № ЦДЛ-21.

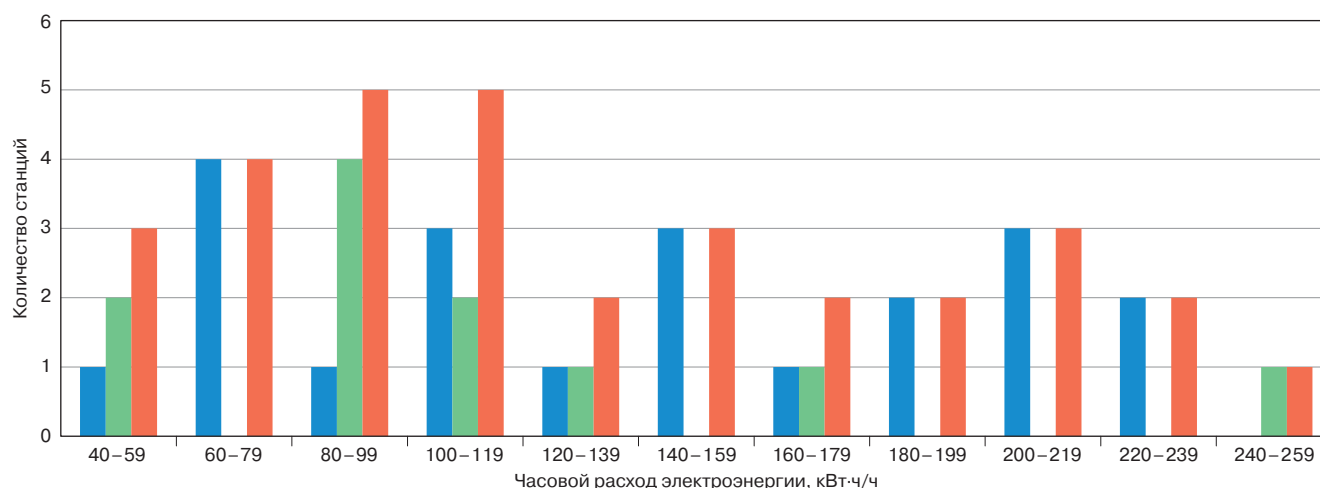


Рис. 1. Распределение количества станций по расходу электроэнергии при выполнении маневровой работы, ед.
 — электровозы постоянного тока; — электровозы переменного тока; — суммарно

Fig. 1. Distribution of stations by power consumption for shunting operations, pcs.
 — DC locomotives; — AC locomotives; — total

В Инструкции⁵ приведены нормы часового расхода электроэнергии в функции от часовой переработки вагонов без разбивки по сериям электровозов. При диапазоне изменения последней от 10 до 300 вагонов/ч норма составляет от 54 до 105 кВт·ч/ч.

Несмотря на то что суточная переработка вагонов является важным показателем работы сортировочной горки, данные об этой переработке отсутствуют в отчетности локомотивного комплекса и требуют использования формы внутренней статистической отчетности по хозяйству перевозок ДО-24ВЦ. Для этого необходима дополнительная интеграция информационных систем хозяйства перевозок и локомотивного комплекса. Отсутствие использования данного показателя при анализе расхода электроэнергии при маневровой работе объясняется как указанными выше организационными затруднениями, так и наличием факта повторной переработки вагонов [13], которая по данным⁶ может достигать 30%. Кроме того, определенная доля маневровой работы производится электровозами также и вне сортировочных горок.

Другим документом, оговаривающим затраты электроэнергии на маневровую работу, являются Правила тяговых расчетов⁷ (ПТР). В пункте 2.4.5 приведены усредненные затраты электроэнергии на 1 ч маневровой работы на станциях для электровозов постоянного тока — 100 кВт·ч и для электровозов переменного тока — 200 кВт·ч. При этом указано, что нормативы должны устанавливаться с учетом местных условий.

На рис. 1 представлено распределение количества станций, на которых маневровая работа выполняется электровозами, по часовому расходу электроэнергии, в т. ч. с разбивкой по роду тока.

Данные получены на основе обработки маршрутов машиниста за период с января по декабрь 2023 г., общий объем выборки — более 10 000 маршрутов. Отметим, что в выборку не включены данные по маневрам, выполняемым электровозами на ветвях необщего пользования и при депо. Из рисунка видно, что разброс часового расхода электроэнергии составляет от 40 до 260 кВт·ч, причем для электровозов постоянного тока распределение достаточно равномерное, а для электровозов переменного тока большее количество случаев соответствует часовому расходу до 120 кВт·ч. Полученные данные подтверждают необходимость разработки более актуальных и детализированных нормативов, нежели существующие.

Краткий анализ особенностей работы электровозов разных серий, используемых при маневровой работе на станциях. Важным моментом, определяющим энергоэффективность выполнения маневровой работы, является выбор используемой серии локомотива. Информация по задействованным на маневровой работе электровозам, полученная на основе обработки упомянутой выше выборки по маршрутам машиниста, приведена в табл. 1. Данные в этой таблице отсортированы по убыванию среднего по станции расхода электроэнергии за смену работы машиниста.

⁵ Инструкция по техническому нормированию расхода электрической энергии и топлива тепловозами на тягу поездов: № ЦТ-2564.

⁶ Швец Н. Г. Способы сокращения повторно перерабатываемых и угловых вагонопотоков на сортировочных станциях: дис. ... канд. техн. наук / БелИИЖТ. [Б. м.], 1984. 203 с.

⁷ Правила тяговых расчетов для поездной работы: утв. распоряжением от 12.05.2016 № 867р (в ред. распоряжения от 09.02.2018 № 182/р) [Электронный ресурс]. М., 2016. 516 с. Доступ из АСПИЖТ.

Таблица 1

Данные по задействованным для маневровой работы электровозам

Table 1

Electric locomotive shunting data

Станция	Парк*	Серия электровоза	Бортовой номер**	Календарные месяцы работы в 2023 г.	Средний за рабочую смену расход электроэнергии, кВт·ч	
					по парку	по станции
Ачинск-1	1	ВЛ80 ^P	Разные	1–12	2695	2695
Пермь-Сортировочная	6	ВЛ11	Разные	1–12	2383	2383
Березники	2	ВЛ11	Разные	1–12	2486	2315
	2	ВЛ11 ^M	Разные	1, 3–8, 10–12	2549	
	4	ВЛ11	Разные	4–12	2415	
	4	ВЛ11 ^M	Разные	4–7, 11–12	2378	
	1	ВЛ11	Разные	1–12	2050	
	1	ВЛ11 ^M	Разные	1–12	2013	
Челябинск-Главный	3	ВЛ10 ^K	Разные	1–12	1970	1970
Муром-1	1	ВЛ80 ^C	Разные	2–12	1848	1848
Бердяуш	1	ВЛ10 ^{УК}	238	1–10	1500	1559
	1	2ЭС6	Разные	7, 9–12	1618	
Рузаевка	7	ВЛ10 ^K	1095	1–8	1696	1459
	7	ВЛ10 ^У	23, 121, 187	6, 9–12	1222	
Дёма	1	ВЛ10 ^У	Разные	1–12	1747	1303
	2	ВЛ10 ^У	Разные	1–12	1165	
	3	ВЛ10 ^У	Разные	1–12	997	
Куйбас	1	ВЛ80 ^{ТК}	Разные	1–12	1283	1283
Тайшет	3	ВЛ65	Разные	1–12	1418	1196
	2	ВЛ65	Разные	1–12	974	
Лоста	2	ВЛ80 ^C	665	1–12	1109	1109
Магнитогорск-Грузовой	1	ВЛ80 ^C	Разные	1–12	980	1010
	1	ВЛ80 ^{СК}	Разные	1–7, 9–12	993	
	1	ВЛ80 ^{ТК}	Разные	1–12	1058	
Екатеринбург-Сортировочный	6	2ЭС6	3, 10, 92	1–5, 11–12	1191	774
	6	2ЭС10	Разные	4–12	449	
	7	ВЛ11 ^K	77	1–7	681	
Кропачёво	1	2ЭС6	Разные	1–12	728	728
Смычка	2	ВЛ11 ^K	17	1–12	691	691
Вихоревка	1	ВЛ65	Разные	4, 9–11	780	687
	2	ВЛ65	Разные	6, 9–11	594	
Металлургическая	1	2ЭС6	Разные	1, 3–12	752	658
	1	ВЛ10 ^K	1543	1–5	565	
Карталы-2	11	ВЛ80 ^{ТК}	Разные	1–12	532	532
Златоуст	1	2ЭС6	1311 в январе — марте и мае — сентябре. В остальные месяцы — разные	1–12	490	490

* Здесь и далее номер парка соответствует НСИ системы АС ЦОММ.

** Конкретные бортовые номера указаны при их количестве 3 и менее.

Из табл. 1 видно, что перечень серий электровозов, задействованных в маневровой работе, достаточно разнообразный. Представлены электровозы обоих родов тока и разных поколений. В основном используются серии электровозов ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80, эпизодически встречаются серии 2ЭС6, ВЛ65 и 2ЭС10.

Имеются случаи использования для маневровой работы электровоза конкретного бортового номера — ВЛ80^С-665 (станция Лоста, весь 2023 г.), ВЛ10^К-1543 (станция Металлургическая, январь—май 2023 г.) и ВЛ10^К-1095 (станция Рузаевка, январь — август 2023 г.), ВЛ11^К-17 (станция Смычка, весь 2023 г.) и ВЛ11^К-77 (станция Екатеринбург-Сортировочный, январь — июль 2023 г.), ВЛ10^{УК}-238 (станция Бердяуш, январь — октябрь 2023 г.), 2ЭС6-1311 (станция Златоуст, январь — март и май — сентябрь 2023 г.). Особенностью маневровой работы (в данном случае горочной) на станции Лоста является использование секций электровоза ВЛ80^С-665, работающих по отдельности. Отметим при этом сопоставимость значений силы тяги при трогании с места секции ВЛ80^С (339 кН) и наиболее распространенных маневровых тепловозов: ЧМЭЗ — 362 кН, ТЭМ18ДМ — 319 кН.

На станции Вихоревка использование электровозов при маневровой работе практикуется не круглогодично, а в определенные временные отрезки. Этому сопутствует небольшой средний расход электроэнергии за рабочую смену — около 700 кВт·ч.

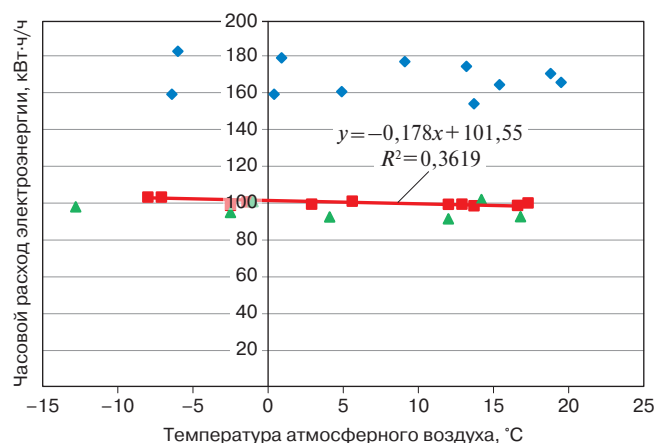


Рис. 2. Данные по часовому расходу электроэнергии для электровоза ВЛ80^С:

- ◆ — Муром-1, парк 1; ■ — Лоста, парк 2;
- ▲ — Магнитогорск-Грузовой, парк 1

Fig. 2. Hourly power consumption for electric locomotive VL80^S:

- ◆ — Murom-1, Fleet 1; ■ — Losta, Fleet 2;
- ▲ — Magnitogorsk-Freight, Fleet 1

Отметим, что в большинстве случаев электровозы используются при горочной работе для надвига и выпуска составов и без возможности использования в подгорочном парке из-за отсутствия контактной сети на спускной части сортировочных горок. Однако имеются случаи использования электровозов и для перестановочных маневров, а также технологических маневровых передвижений при депо.

Для ряда станций в 2023 г. произошла смена серий задействованных электровозов. Например, на станции Металлургическая серию ВЛ10^К заменили на 2ЭС6. При этом сравнение среднего расхода по сериям некорректно как по причине разных периодов времени работы, так и из-за использования конкретного бортового номера ВЛ10^К, погрешность счетчика электроэнергии которого неизвестна. Также замена серии электровоза произведена на станции Рузаевка — ВЛ10^К на ВЛ10^У, на станции Бердяуш — ВЛ10^{УК} на 2ЭС6. На станции Екатеринбург-Сортировочный в 2023 г. в разных парках на маневрах были задействованы серии 2ЭС6, 2ЭС10, ВЛ11^К. При замене электровоза 2ЭС6 на 2ЭС10 средний расход электроэнергии снизился более чем в 2,6 раза. Однако очевидно, что использование достаточно современных электровозов серии 2ЭС10 на маневровой работе оправдано только при отсутствии их востребованности для магистральной работы, связанной, например, с их локальным избыточным наличием в рабочем парке.

Результаты обработки статистических данных по расходу электроэнергии при маневровой работе. Статистическая обработка данных по расходу электроэнергии на маневрах заключалась в получении средних за период (месяц и год) значений данного расхода с исключением значений расхода по маршруту машиниста, выходящих за диапазон $\pm 3\sigma$, а также в определении средних за период значений коэффициента вариации V . В последующем для однородных совокупностей, т. е. в случаях, когда значения V не превышают 0,33, были построены зависимости часового расхода электроэнергии при маневрах от температуры атмосферного воздуха (рис. 2–8). Значения температуры были получены из общедоступного архива погоды⁸.

Как видно из рис. 2–8, корреляция между этими двумя параметрами присутствует не во всех случаях. Там, где она присутствует, на графиках приведены уравнения регрессионных зависимостей. Полученные коэффициенты влияния температуры (табл. 2) находятся в диапазоне от $-0,178$ до $-1,312$ (кВт·ч/ч)/°C, т. е. крайние значения отличаются более чем в 7 раз.

⁸ Расписание погоды rp5.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://rp5.ru/> (дата обращения: 29.08.2024).

Анализируя результаты на рис. 2–8 и в табл. 2, нужно учитывать, что зависимости расхода электроэнергии от температуры во многом определяются соотношением среднего часового расхода электроэнергии, характеризующего среднее значение используемой мощности электровоза и мощности его собственных нужд, а также характеристиками приборов учета расхода электроэнергии. Из табл. 2 видно, что практически все значения коэффициента влияния температуры получены для значений часового расхода электроэнергии менее 100 кВт·ч/ч, кроме случая работы ВЛ80^Р (станция Ачинск-1). В последнем

случае отметим несколько большую мощность собственных нужд у ВЛ80^Р по сравнению с ВЛ80^С и ВЛ80^Т (согласно ПТР). Однако в данном случае не стоит исключать и тот факт, что управление режимом работы наиболее энергоемких потребителей собственных нужд электровозов ВЛ80 — мотор-вентиляторов — осуществляется машинистами в ручном режиме. Очевидно, что если потребители собственных нужд при работе электровоза включены постоянно, то их мощность практически неизменна в разные периоды года, отличающиеся значениями температуры атмосферного воздуха.

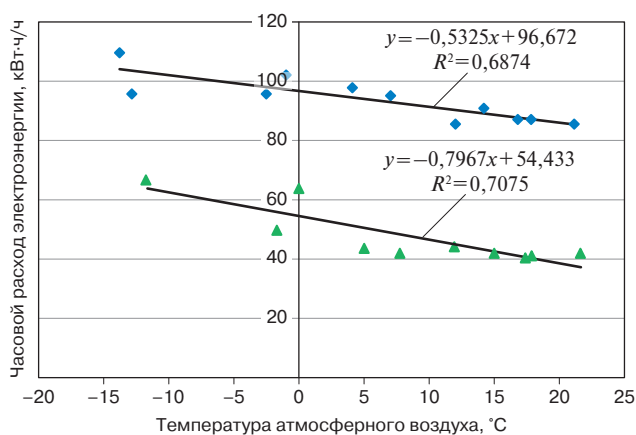


Рис. 3. Данные по часовому расходу электроэнергии для электровоза ВЛ80^{ТК}:
◆ — Магнитогорск-Грузовой, парк 1; ▲ — Карталы-2, парк 11

Fig. 3. Hourly power consumption for electric locomotive VL80^{TK}:

◆ — Magnitogorsk-Freight, Fleet 1; ▲ — Kartaly-2, Fleet 11

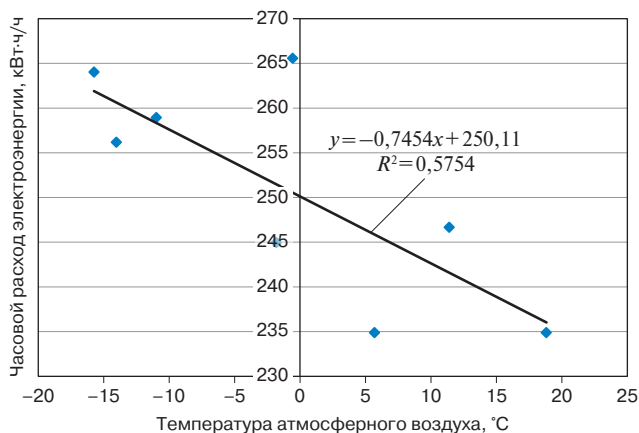


Рис. 4. Данные по часовому расходу электроэнергии для электровоза ВЛ80^Р:
◆ — Ачинск-1, парк 1

Fig. 4. Hourly power consumption for electric locomotive VL80^R:

◆ — Achinsk-1, Fleet 1

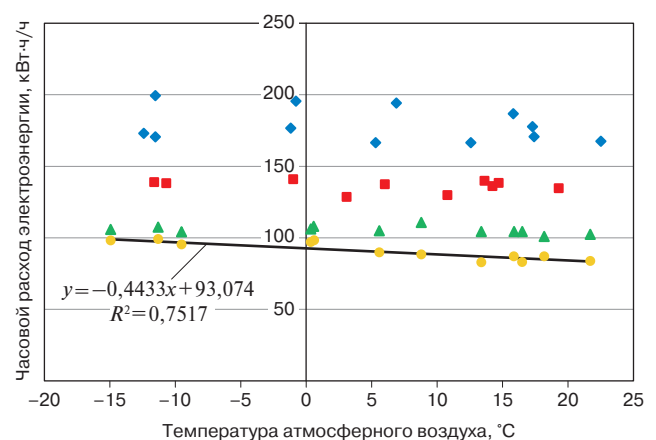


Рис. 5. Данные по часовому расходу электроэнергии для электровоза ВЛ10:
◆ — Челябинск-Главный, парк 3; ■ — Бердяуш, парк 1; ▲ — Дёма, парк 2; ● — Дёма, парк 3

Fig. 5. Hourly power consumption for electric locomotive VL10:

◆ — Chelyabinsk-Main, Fleet 3; ■ — Berdyush, Fleet 1; ▲ — Dyoma, Fleet 2; ● — Dyoma, Fleet 3

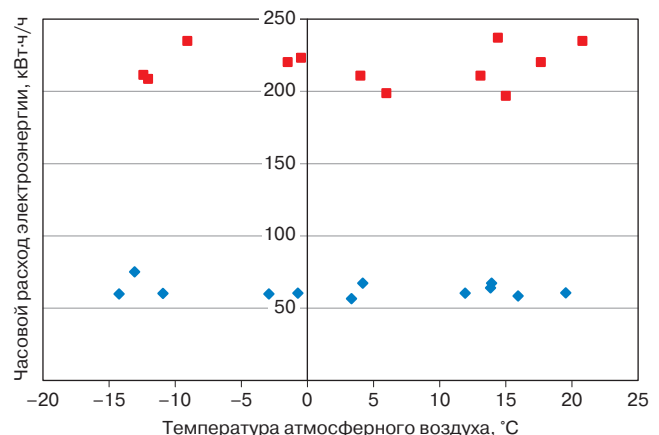


Рис. 6. Данные по часовому расходу электроэнергии для электровоза ВЛ11:
◆ — Смышка, парк 2; ■ — Пермь-Сортировочная, парк 6

Fig. 6. Hourly power consumption for electric locomotive VL11:

◆ — Smychka, Fleet 2; ■ — Perm-Marshalling, Fleet 6

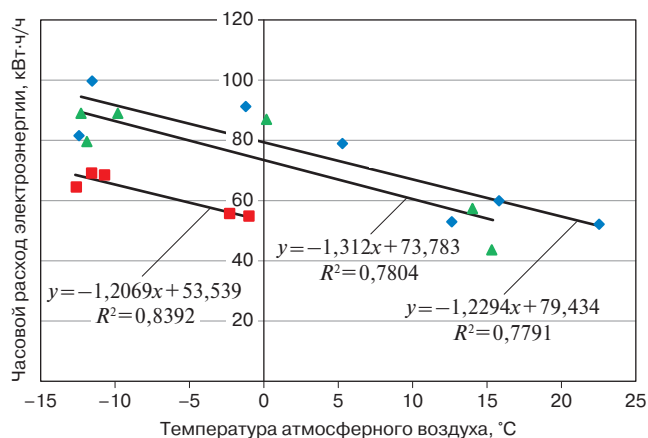


Рис. 7. Данные по часовому расходу электроэнергии для электровоза 2ЭС6:
 ◆ — Metallurgicheskaya, парк 1; ■ — Златоуст, парк 1;
 ▲ — Кропачёво, парк 1

Fig. 7. Hourly power consumption for electric locomotive 2ES6:
 ◆ — Metallurgicheskaya, Fleet 1; ■ — Zlatoust, Fleet 1;
 ▲ — Kropachyovo, Fleet 1

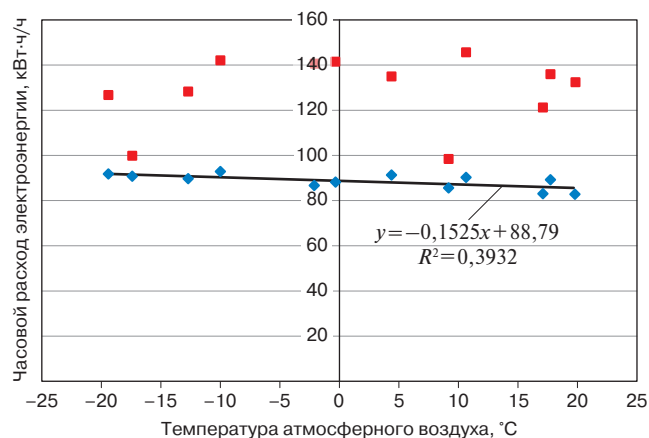


Рис. 8. Данные по часовому расходу электроэнергии для электровоза ВЛ65:
 ◆ — Тайшет, парк 2; ■ — Тайшет, парк 3

Fig. 8. Hourly power consumption for electric locomotive VL65:
 ◆ — Tayshet, Fleet 2; ■ — Tayshet, Fleet 3

Таблица 2

Результаты статистической обработки данных о расходе электроэнергии при маневрах

Table 2

Results of statistical processing of data on power consumption in shunting

Серия электровоза	Станция	Парк	Часовой расход электроэнергии, кВт·ч		Коэффициент вариации V		Коэффициент влияния температуры на расход электроэнергии, (кВт·ч/ч)/°C
			Среднее за год значение	Разброс по месяцам	Среднее значение*	Менее 0,33	
ВЛ10 ^к	Челябинск-Главный	3	179	167–199	0,12	Да	—
ВЛ10 ^у	Дёма	1	138	118–207	0,28	Не все точки	—
		2	106	101–110	0,23	Да	—
		3	85,9	81,5–99,8	0,28	Да	–0,443
ВЛ10 ^{ук}	Бердяуш	1	136	129–141	0,07	Да	—
ВЛ11	Березники	1	—	124–229	0,4	Нет	—
		2	—	145–281	0,39	Нет	—
	Пермь-Сортировочная	6	221	194–237	0,19	Да	—
ВЛ11 ^к	Смышка	2	62,8	57,3–75,6	0,18	Да	—
ВЛ11 ^м	Березники	2	—	143–312	0,37	Нет	—
2ЭС6	Кропачёво	1	—	44,4–89,6	0,34	Не все точки	–1,312
	Златоуст	1	—	17,5–69,9	0,44	Не все точки	–1,21
	Металлургическая	1	55,4	45,9–99,6	0,29	Не все точки	–1,229
ВЛ80 ^р	Ачинск-1	1	239	227–266	0,23	Не все точки	–0,745
ВЛ80 ^с	Муром-1	1	168	154–183	0,17	Да	—
	Лоста	2	99,3	97–105	0,08	Да	–0,178
ВЛ80 ^{ск}	Магнитогорск-Грузовой	1	95	73,2–103	0,22	Не все точки	—
ВЛ80 ^{тк}	Магнитогорск-Грузовой	1	87,1	85,4–124	0,28	Не все точки	–0,532
	Куйбас	1	—	105–137	0,45	Нет	—
	Карталы-2	11	42,4	40,5–67,5	0,26	Не все точки	–0,797
ВЛ65	Тайшет	2	87,3	82,8–92,4	0,22	Да	–0,152
	Тайшет	3	129	97,4–146	0,26	Да	—

* По индивидуальной в каждом случае совокупности месяцев, для которых значение коэффициента вариации не превышает 0,33 при наличии таких месяцев. При их отсутствии — простое среднее.

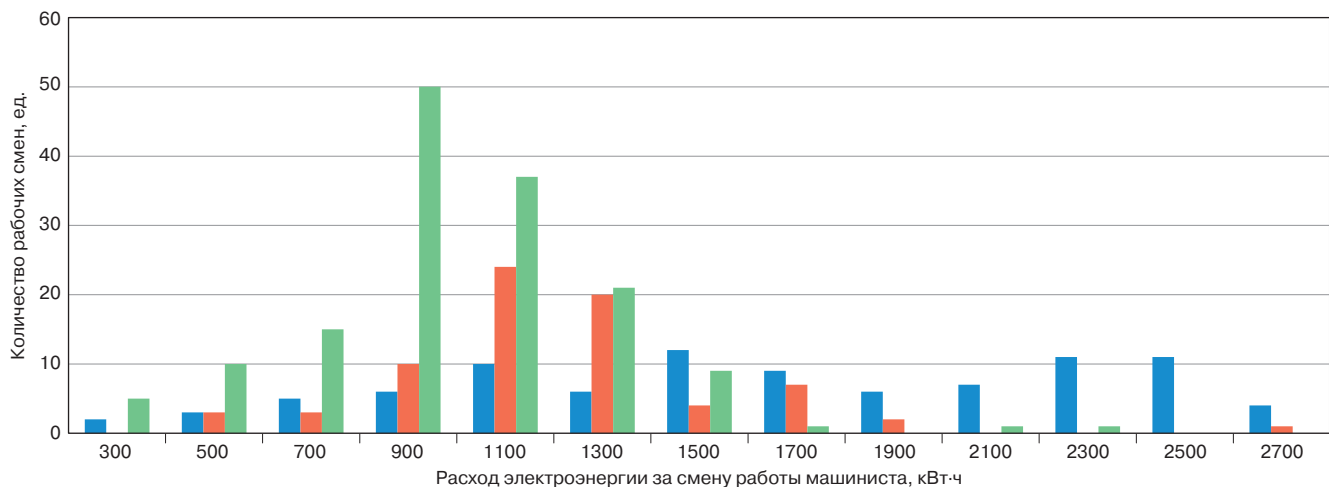


Рис. 9. Распределение количества рабочих смен по расходу электроэнергии на маневры для станции Дёма в июле 2023 г.:
■ — парк 1; ■ — парк 2; ■ — парк 3

Fig. 9. Distribution of work shifts by power consumption for shunting operations for Dyoma Station in July 2023:
■ — Fleet 1; ■ — Fleet 2; ■ — Fleet 3

Что касается электровозов постоянного тока, то показательным является наличие наибольших значений коэффициента влияния температуры у электровозов серии 2ЭС6, на которых установлены высокоточные приборы учета расхода электроэнергии, тогда как для электровозов ВЛ10 и ВЛ11 влияние температуры на расход электроэнергии отмечено только в третьем парке станции Дёма, с умеренным часовым расходом — 85,9 кВт·ч/ч. При этом известно, что на электровозах ВЛ10 и ВЛ11, не модернизированных установкой систем РПДА (система, предназначенная для автоматизированного сбора, регистрации и обработки информации о движении и работе локомотива с целью контроля, учета работы и расхода электроэнергии, технического состояния оборудования и энергетической эффективности в эксплуатации), штатные счетчики из-за имеющейся погрешности не позволяют полноценно учитывать расход электроэнергии на собственные нужды при отсутствии тягового режима.

Не вызывает сомнения, что коэффициент вариации расхода электроэнергии V в определенной степени характеризует неравномерность загрузки маневрового электровоза. В июле 2023 г. для станции Дёма в первом парке среднее значение V составило 0,402, во втором парке — 0,257 и в третьем парке — 0,306. На рис. 9 приведено распределение рабочих смен по расходу электроэнергии для указанных случаев. Видно, что распределение в первом парке, с наибольшим значением V , многомодальное, а значит, среднее за месяц значение расхода электроэнергии плохо отражает совокупность данных по маршрутам машиниста и не может считаться типичной характеристикой.

По этой причине в табл. 2 средние за год значения часового расхода электроэнергии приведены только для случаев, где V менее 0,33; для остальных случаев возможно использование только диапазона изменения этой величины по месяцам.

Обобщая вышесказанное, отметим, что учет влияния температуры при нормировании расхода электроэнергии на маневры должен быть не безусловным и единым для всех случаев, а дифференцированным, предпочтительно на основе коэффициентов влияния, полученных индивидуально, путем обработки статистических данных, что в части пригородного движения подтверждают и другие исследователи [14].

Особенности энергопотребления при выполнении маневровой работы электровозами. Как было отмечено ранее, аналитический способ расчета расхода электроэнергии подразумевает определение суточного расхода электроэнергии, кВт·ч, на основе предварительно полученных зависимостей для расчетных маневровых режимов. Например, для перестановочных маневров со сменой направления движения суточный расход электроэнергии в [6] предлагается определять на основе зависимости

$$A_{MC} = 150 + 1,9Q, \quad (1)$$

где Q — масса маневрового состава при подаче, т.

Выражение (1) в качестве единственной переменной содержит массу состава вагонов, фактические значения которой в эксплуатации не фиксируются. Данное выражение было предложено для электровозов переменного тока. Для электровозов постоянного тока с реостатным пуском дополнительно должны быть учтены пусковые потери. Ниже приведено

выражение для определения расхода электроэнергии, связанного с потерей напряжения в пусковых реостатах, кВт·ч/пуск, полученное преобразованием выражения из [6] путем подстановки вместо касательной мощности (л. с.) потребляемой мощности (кВт):

$$A_n = \frac{1,126 N_n^2 K_n}{1000 P \psi_k \left(\frac{1000 P \psi_k}{P + Q} - w \right)}, \quad (2)$$

где N_n — потребляемая мощность электровоза, кВт; K_n — коэффициент пуска, равный отношению потерь в реостатах электроэнергии к полезной работе; P — сцепная масса электровоза, т; ψ_k — коэффициент сцепления (для маневров рекомендован на уровне 0,28 при трогании с места и на уровне 0,25 при движении [6]); w — основное удельное сопротивление движению, кгс/тс (среднее значение с учетом кривых участков пути и на стрелках при скоростях до 30 км/ч оценено [6] величиной порядка 3 кгс/тс, или 29,4 Н/т).

Таблица 3

Потери электроэнергии для электровозов постоянного тока на один пуск при маневровых передвижениях, кВт·ч

Table 3

DC locomotive power loss for one start in shunting operations, kW·h

Q, т	N _n , кВт		
	1000 (ВЛ10)	1000 (ВЛ10 ^у , 2ЭС6)	1500 (2ЭС6)
1000	0,7	0,6	1,3
3000	2,1	1,8	4
4500	3,6	2,9	6,6
6000	5,5	4,4	10

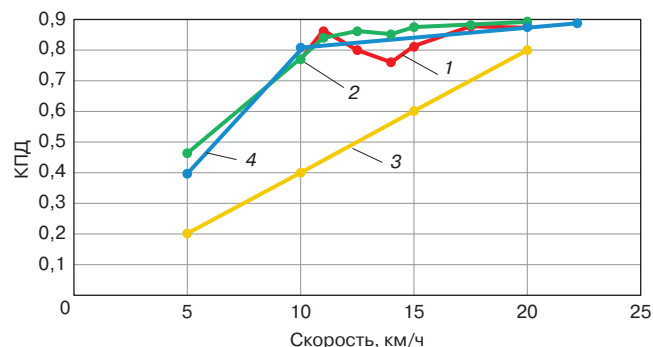


Рис. 10. Зависимость КПД от скорости для электровозов постоянного тока:
1 — ВЛ10; 2 — ВЛ10^у; 3 — ВЛ11; 4 — 2ЭС6

Fig. 10. Efficiency dependence on speed for DC locomotives:
1 — VL10; 2 — VL10^u; 3 — VL11; 4 — 2ES6

Пуск электровозов постоянного тока с реостатным регулированием, используемых на маневровой работе, при наиболее характерных скоростях до 20 км/ч будет одноступенчатым, соответственно $K_n = 1$. Потребляемую мощность с учетом тяговых характеристик на С-соединении для упомянутых серий электровозов примем на уровне 1000–1500 кВт.

В табл. 3 приведены результаты расчета потери электроэнергии на один пуск для используемых в настоящее время на маневрах серий электровозов.

Данные табл. 3 показывают порядок абсолютных значений потерь и позволяют при наличии информации о количестве маневровых передвижений определить долю пусковых потерь в общем расходе электроэнергии на маневры электровозами постоянного тока с реостатным пуском.

Из (2) видно, что снижение пусковых потерь возможно при увеличении сцепной массы и коэффициента сцепления, преимущественном использовании электровозов с многоступенчатым пуском и снижении касательной мощности. Соответственно, при наличии в эксплуатируемом парке разных серий электровозов предпочтительно, например, использование электровозов ВЛ10^у вместо ВЛ10 и ВЛ11. Использование электровозов новых серий, без реостатного регулирования, как ранее указывалось, требует наличия их избытка в рабочем парке.

Отметим, что потери электроэнергии наглядно позволяет оценить характеристика изменения КПД от скорости движения локомотива, полученная по данным ПТР. На рис. 10 приведены упомянутые зависимости в зоне наиболее часто встречающихся при маневровой работе скоростей движения для используемых на маневрах электровозов постоянного тока. Из рисунка видно, что использование при маневровой работе электровозов ВЛ11 менее предпочтительно, что обусловлено особенностями их силовой электрической схемы.

На рис. 11 приведены зависимости, аналогичные рис. 10, для электровозов переменного тока. Как можно заметить, с точки зрения энергоэффективности предпочтительно использование на маневровых работах электровозов ВЛ80^р и 2ЭС5К.

В целом рис. 10 и 11 подтверждают достаточно подробно рассмотренные в [6] недостатки при использовании в маневровой работе магистральных электровозов, созданных для преимущественного движения в длительных режимах и с большими, чем при маневровой работе, значениями скорости.

Поскольку в повседневной практике расчеты по выражениям, аналогичным (1), осложнены отсутствием текущего значения массы маневрового состава, которая при надвиге состава на горку является еще и переменной величиной, возникает вопрос

о возможности получения нормативных характеристик энергозатрат косвенным путем (например, с использованием информации о средней массе поезда на участках, непосредственно прилегающих к станции выполнения маневровой работы). Такой анализ был выполнен на основе обработки маршрутов машиниста грузового движения депо Лоста, Ачинск-1 и Пермь за 2023 г. Для участков работы локомотивных бригад, граничащих (согласно их наименованию) со станциями маневровой работы Лоста, Ачинск-1 и Пермь, были определены средние по месяцам 2023 г. значения массы поезда по соответствующим совокупностям поездов. Далее в функции от этого параметра были построены зависимости часового расхода электроэнергии на маневры. Полученные результаты показали отсутствие приемлемой корреляции указанных параметров: во всех рассмотренных случаях значения коэффициента корреляции оказались менее 0,5. Данный факт говорит о том, что средняя масса поездов, прибывающих на станцию и отправляемых с нее, не в полной мере характеризует объем перерабатываемых на станции вагонов. Кроме того, на расход электроэнергии на маневры, помимо объема перерабатываемых вагонов, также влияют организация и технология маневровой работы. Стоит отметить и тот факт, что на отдельных сортировочных станциях до 40 % составов, приходящих в расформирование, имеют вагоны для перевозки опасных грузов 2 класса⁹. Для этих вагонов требуется выполнение дополнительной маневровой работы, что затрудняет использование характеристик составов, приходящих в расформирование, для нормирования расхода электроэнергии на маневровую работу.

Перспективы использования данных от бортовых комплексов регистрации для оценки расхода электроэнергии при маневрах. В существующей отчетности локомотивного комплекса по маршрутам машиниста маневровая работа характеризуется указанием станции ее выполнения, а для многопарковых станций дополнительно с указанием парка, временем работы и полученным на основе этого времени условным пробегом (один час маневров считают эквивалентным 5 км пробега). Очевидно, что эта информация носит довольно общий характер, не отражая объем выполненной работы, нормирование расхода электроэнергии при этом осуществляется от достигнутого и является в большей части формальностью. В дополнение к данным из маршрутов машиниста используемые на многих электровозах бортовые комплексы

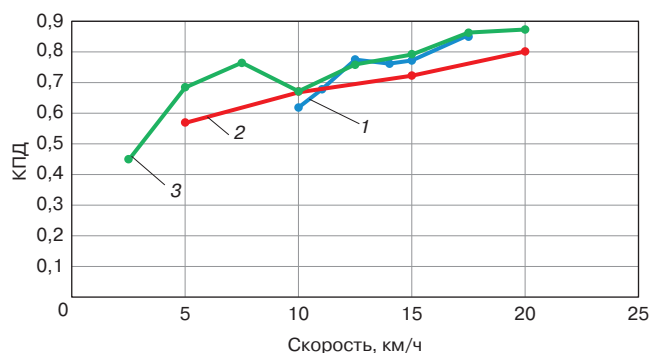


Рис. 11. Зависимость КПД от скорости для электровозов переменного тока:
1 — 2ЭС5К; 2 — ВЛ80^{С/Т}; 3 — ВЛ80^Р

Fig. 11. Efficiency dependence on speed for AC locomotives:
1 — 2ES5K; 2 — VL80^{S/T}; 3 — VL80^R

регистрации параметров (БКРП) позволяют получить данные об изменении во времени скорости движения, географических координат, фактического пробега (нарастающим итогом), показаний счетчиков расхода электроэнергии с разбивкой по секциям.

Данные по координатам позволяют четко определить границы маневрового района, что при задействовании маневрового локомотива в разных парках станции и отличиях в них параметров потребления электроэнергии позволит дифференцировать соответствующие нормативы. Образец указания на карте перемещений электровоза 2ЭС6-326 при выполнении маневров 10.04.2024, зафиксированных в маршруте машиниста для станции Металлургическая, приведен на рис. 12. Расшифровка позволяет определить, что основная работа выполнялась на станции Новометаллургическая, с заездом на станцию Металлургическая и на ветвь по направлению к станции Межозёрная. Суммарный фактический пробег составил 32,4 км. При этом условный пробег, соответствующий времени маневров из маршрута машиниста (11 ч 19 мин), составляет 56,6 км, что подтверждает условность данной величины.

Образцы расшифровок зарегистрированных параметров для маневровой работы на станциях Ачинск-1 и Лоста приведены на рис. 13–16. На рис. 13 представлено изменение регистрируемых параметров за полную рабочую смену машиниста при выполнении маневров электровозом ВЛ80^Р-1554 на станции Ачинск-1 13.04.2024. Рисунок позволяет увидеть такие характеристики, как скоростной диапазон, соотношение времени передвижений и стоянок, использованная

⁹ Методика аттестации железнодорожных станций с автоматизированными горками с позиции обеспечения безопасности при выпуске вагонов-цистерн для перевозки опасных грузов 2 класса с классификационным шифром 2112 и номерами ООН 1011, 1965, 1969, 1978 опасности (пропанобутановые смеси) [Электронный ресурс]: утв. ОАО «РЖД» от 15.12.2017 № 1339 (ред. от 20.02.2018). Доступ из АСПИЖТ.



Рис. 12. Образец указания маневровых передвижений электровоза 2ЭС6-326 на карте

Fig. 12. Sample indication of shunting movements of electric locomotive 2ES6-326 on the map

машинистом возможность асинхронного нагружения секций. На рис. 14 для этого же электровоза и станции отображены регистрируемые параметры за период с 20:06 по 21:47 15.04.2024. В данном случае более подробно видны конкретные циклы нагружения, соответствующие маневровым операциям, а также зафиксирован факт ручного управления работой мотор-вентиляторов при стоянке электровоза. Отметим, что период регистрации мощности определяется интенсивностью потребления электроэнергии и варьируется от 30 с до 3 мин в циклах нагружения и до 20 мин при стоянках. На рис. 15 показано изменение регистрируемых параметров за период с 16:52 по 17:03 15.04.2024. Здесь видно изменение скорости (в имеющихся данных отметки расположены через каждые 30 с) и средней за период регистрации мощности

при отдельном цикле передвижений с вагонами. Заметен момент перехода на выбег, а также разница на грузки по секциям электровоза.

На рис. 16 приведено изменение регистрируемых параметров за полную рабочую смену машиниста при выполнении горочных маневров электровозом ВЛ80^С-665/1 на станции Лоста 11.04.2024. По уровню зафиксированной средней за период регистрации мощности видно, что мотор-вентиляторы используемой на маневрах секции электровоза при стоянках практически постоянно выключены.

Результаты расчета интегральных показателей за рабочие смены маневровой работы, полученные при обработке данных регистрации БКРП, размещенных на исследуемых электровозах, представлены в табл. 4.

Расчетный нормативный расход электроэнергии за смену работы машиниста при маневрах (кВт·ч) предлагается определять из выражения

$$E_{P_M} = P_{дв} T_{дв} + P_{ст} T_{ст} k_t (10 - \tau), \quad (3)$$

где $P_{дв}$ — средняя потребляемая электровозом мощность при движении, кВт; $T_{дв}$ — суммарное (общее) время передвижений, ч; $P_{ст}$ — средняя потребляемая электровозом мощность при стоянке, кВт; $T_{ст}$ — суммарное (общее) время стоянок, ч; k_t — коэффициент влияния температуры атмосферного воздуха, (кВт·ч/ч)/°C; τ — температура атмосферного воздуха, °C.

Для электровозов, оборудованных исправными БКРП, используются значения $P_{дв}$ и $P_{ст}$, определенные в каждой рабочей смене; значения k_t и τ не учитываются. Для электровозов с отсутствием или неисправностью БКРП используются значения $P_{дв}$ и $P_{ст}$, усредненные по совокупности рабочих смен базового периода всех электровозов, задействованных для работы в данном маневровом районе. Также определяются значения среднего квадратического отклонения мощности. Данные базового периода, продолжительность которого должна быть выбрана опытным путем, ежедневно обновляются. Значения $T_{дв}$ и $T_{ст}$ определяются в каждой рабочей смене по данным БКРП, а при их отсутствии — по данным приборов безопасности.

В процессе эксплуатации определяется расчетный расход электроэнергии по (3), который сравнивается с вписанным в маршруте машиниста значением расхода, с фиксацией экономии или перерасхода. Для электровозов, оборудованных исправными БКРП, также контролируется отклонение значений $P_{дв}$ и $P_{ст}$ в данной рабочей смене от усредненных по базовому периоду. Если данное отклонение превышает среднее квадратическое, необходимо проверить исправность БКРП.

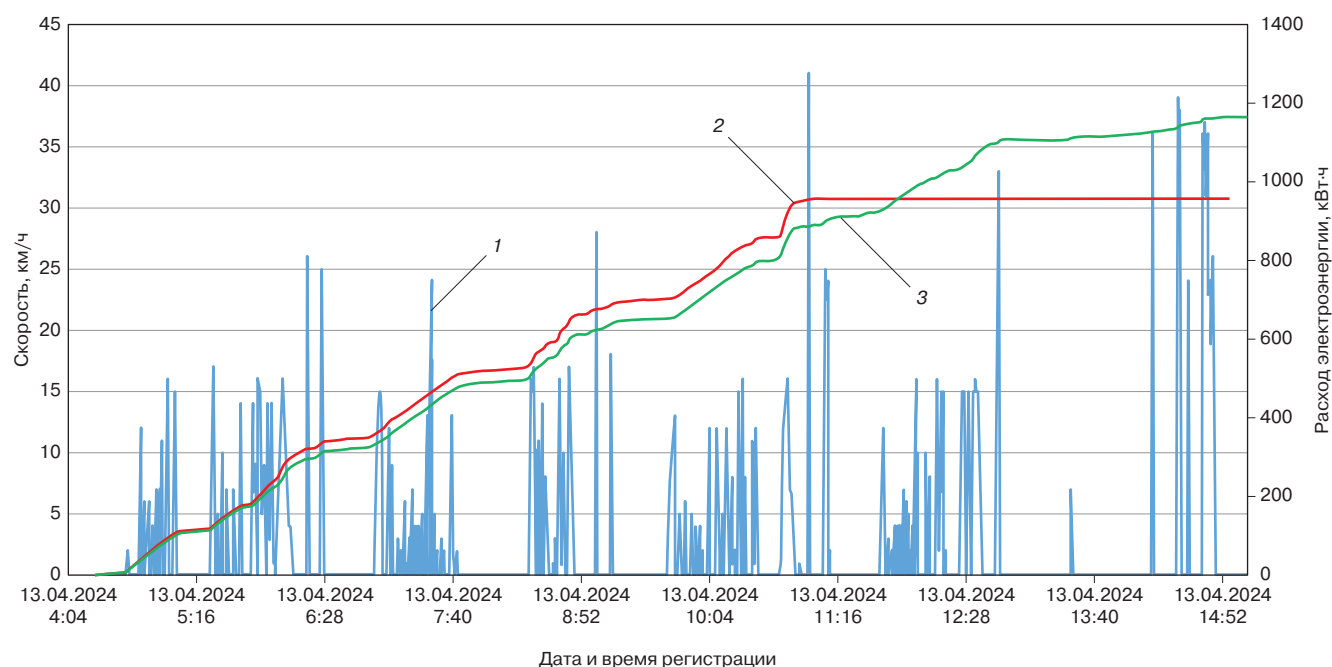


Рис. 13. Образец расшифровки данных регистрации при маневровой работе электровоза ВЛ80^Р-1554 на станции Ачинск-1 13.04.2024, с 4:04 по 14:52:

1 — скорость; 2 — расход электроэнергии секции 1; 3 — расход электроэнергии секции 2

Fig. 13. Sample transcript of registered data of shunting operation of electric locomotive VL80^R-1554 at Achinsk-1 Station 13.04.2024, from 4:04 to 14:52:

1 — speed; 2 — Section 1 power consumption; 3 — Section 2 power consumption

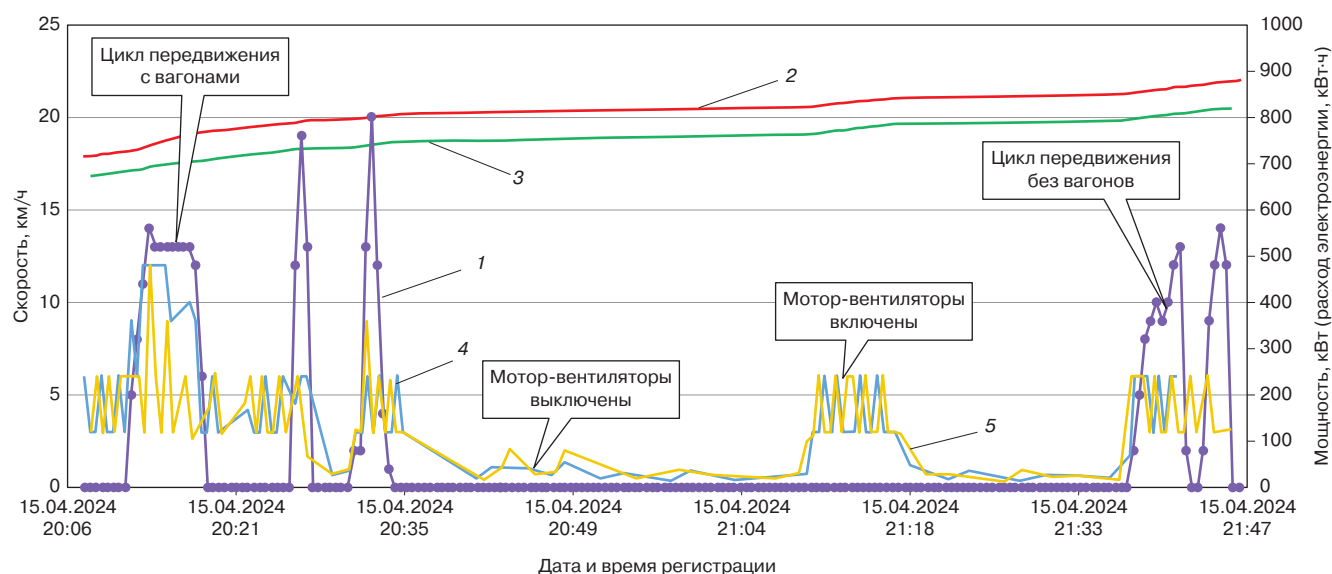


Рис. 14. Образец расшифровки данных регистрации при маневровой работе электровоза ВЛ80^Р-1554 на станции Ачинск-1 15.04.2024, с 20:06 по 21:47:

1 — скорость; 2 — расход электроэнергии секции 1; 3 — расход электроэнергии секции 2; 4 — средняя за период регистрации мощность секции 1; 5 — средняя за период регистрации мощность секции 2

Fig. 14. Sample transcript of registered data of shunting operation of electric locomotive VL80^R-1554 at Achinsk-1 Station 15.04.2024, from 20:06 to 21:47:

1 — speed; 2 — Section 1 power consumption; 3 — Section 2 power consumption; 4 — Section 1 average registered power for the period; 5 — Section 2 average registered power for the period

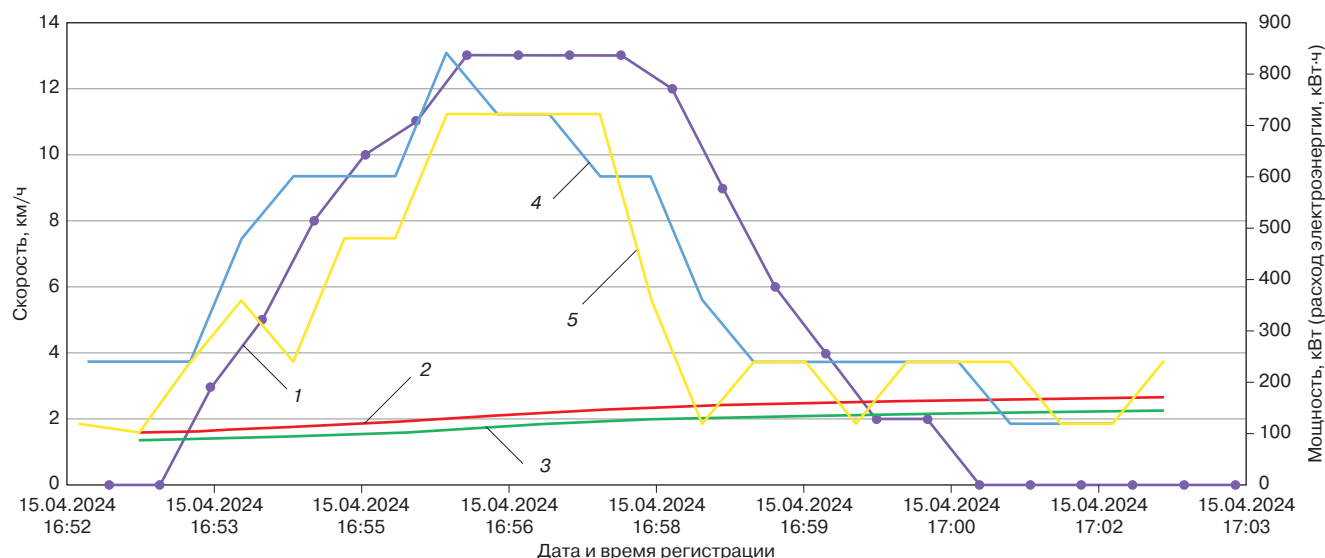


Рис. 15. Образец расшифровки данных регистрации при маневровой работе электровоза ВЛ80^Р-1554 на станции Ачинск-1 15.04.2024, с 16:52 по 17:03:

1 — скорость; 2 — расход электроэнергии секции 1; 3 — расход электроэнергии секции 2; 4 — средняя за период регистрации мощность секции 1; 5 — средняя за период регистрации мощность секции 2

Fig. 15. Sample transcript of registered data of shunting operation of electric locomotive VL80^R-1554 at Achinsk-1 Station 15.04.2024, from 16:52 to 17:03:

1 — speed; 2 — Section 1 power consumption; 3 — Section 2 power consumption; 4 — Section 1 average registered power for the period; 5 — Section 2 average registered power for the period

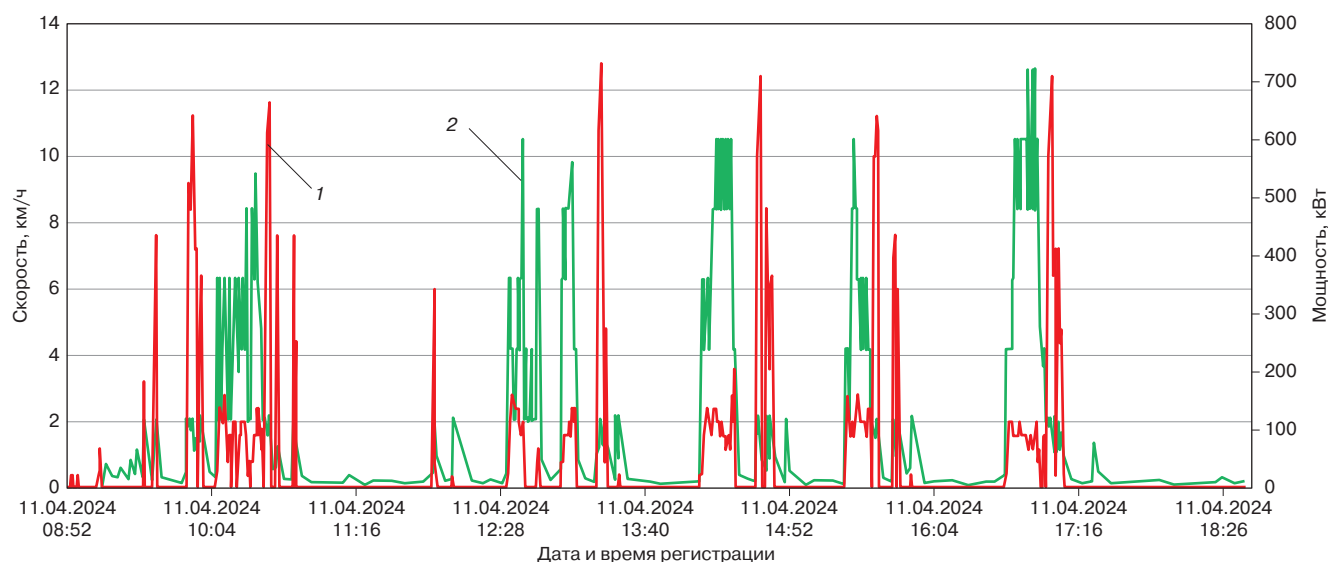


Рис. 16. Образец расшифровки данных регистрации при маневровой работе электровоза ВЛ80^С-665, секция 1, на станции Лоста 11.04.2024, с 8:52 по 18:26:

1 — скорость; 2 — средняя за период регистрации мощность

Fig. 16. Sample transcript of registered data of shunting operation of electric locomotive VL80^S-665, Section 1, at Losta Station 11.04.2024, from 8:52 to 18:26:

1 — speed; 2 — average registered power for the period

Результаты проверки расчетов по выражению (3) в сравнении с фактическим расходом электроэнергии по данным БКРП — $E_{ФБ}$ для вариантов расчета из табл. 4 приведены в табл. 5. В данной таблице также содержатся данные о фактическом $E_{ФЦ}$ и

нормативном $E_{НЦ}$ расходах электроэнергии за рабочую смену из АС ЦОММ.

С учетом данных табл. 5 и продолжительности рабочих смен машиниста можно определить, что норма часового расхода в АС ЦОММ для маневров

на станции Ачинск-1 составляет 251 кВт·ч/ч, на станции Лоста — 112 кВт·ч/ч. Как видно, при расчетах по усредненным нормативам отклонение $E_{H_{Ц}}$ от $E_{Ф_{Ц}}$ в рассмотренных рабочих сменах достигает 60 %, а от значений $E_{Ф_{Б}}$ — 42 %. Максимальное отклонение нормативного расхода $E_{P_{M}}$ от $E_{Ф_{Б}}$ при этом составило 16 %. Также отметим, что отклонение суммы по 9 рабочим сменам значений $E_{H_{Ц}}$ от аналогичной суммы $E_{Ф_{Б}}$ составило 6,1 %, а отклонение суммы $E_{P_{M}}$ от $E_{Ф_{Б}}$ — 3,3 %. Полученные результаты свидетельствуют о большей объективности

расчетных значений $E_{P_{M}}$ по сравнению с $E_{H_{Ц}}$ за счет учета в нормативе $E_{P_{M}}$ параметров выполненной работы.

Важно отметить, что повышение объективности нормирования при использовании данных БКРП позволит фиксировать неисправности приборов учета электроэнергии или некорректность записи о расходе электроэнергии в АС ЦОММ. В части оценки работы машинистов использование данных БКРП обеспечит контроль за соблюдением инструкций по управлению мотор-вентиляторами электровозов.

Таблица 4

Параметры маневровой работы электровозов по данным регистрации БКРП

Table 4

Electric locomotive shunting parameters based on registered on-board data

Дата работы	Станция	Электровоз/секция	Расход электроэнергии секции 1/секции 2, кВт·ч	Пробег, км	Потребляемая мощность секции 1/секции 2, кВт				Продолжительность, ч	
					при движении		на стоянке		перемещение	стоянок
					максимальная*	средняя**	максимальная*	средняя		
11.04.2024	Ачинск-1	ВЛ80 ^Р -1554	1838/1881	21,2	960/960	208/210	240/240	115/115	3,4	8,3
13.04.2024	Ачинск-1	ВЛ80 ^Р -1554	956/1177	33,0	1080/960	233/204	120/120	44/44	2,7	8,7
15.04.2024	Ачинск-1	ВЛ80 ^Р -1554	1820/1711	21,8	840/840	216/209	240/240	110/108	3,7	7,9
11.04.2024	Лоста	ВЛ80 ^С -665/1	763/—	14,8	720/—	263/—	78/—	27/—	2,55	8,77
11.04.2024	Лоста	ВЛ80 ^С -665/2	—/737	15,4	—/840	—/236	—/69	—/20	2,3	9,0
13.04.2024	Лоста	ВЛ80 ^С -665/1	801/—	25,0	600/—	204/—	41/—	17/—	2,9	8,4
13.04.2024	Лоста	ВЛ80 ^С -665/2	—/916	27,2	—/840	—/247	—/64	—/25	3,4	7,9
16.04.2024	Лоста	ВЛ80 ^С -665/1	1186/—	35,6	840/—	258/—	32/—	16/—	4,3	7,0
16.04.2024	Лоста	ВЛ80 ^С -665/2	—/1114	33,8	—/720	—/262	—/55	—/23	4,0	7,3

* По вычисленным единичным значениям средней за период регистрации мощности.

** Только в режимах нагружения, без учета значений мощности при выбеге.

Таблица 5

Результаты расчета нормативов расхода электроэнергии на маневровую работу и проверки их выполнения

Table 5

Results of calculation of power consumption rates for shunting operations and verification of compliance

Дата работы	Станция	Электровоз/секция	Расход электроэнергии по данным БКРП, кВт·ч		Отклонение $E_{Ф_{Б}}$ от $E_{P_{M}}$, %	Расход электроэнергии по данным АС ЦОММ, кВт·ч		Отклонение $E_{Ф_{Ц}}$ от $E_{H_{Ц}}$, %	Отклонение $E_{Ф_{Б}}$ от $E_{H_{Ц}}$, %
			$E_{Ф_{Б}}$	$E_{P_{M}}$		$E_{Ф_{Ц}}$	$E_{H_{Ц}}$		
11.04.2024	Ачинск-1	ВЛ80 ^Р -1554	3719	3330	11,7	3721	2862	30,0	29,9
13.04.2024	Ачинск-1	ВЛ80 ^Р -1554	2133	1946	9,6	2146	2880	—25,5	—25,9
15.04.2024	Ачинск-1	ВЛ80 ^Р -1554	3531	3311	6,7	3496	2882	21,3	22,5
11.04.2024	Лоста	ВЛ80 ^С -665/1	763	907	—15,9	800	1086	—26,3	—29,7
11.04.2024	Лоста	ВЛ80 ^С -665/2	737	723	2,0	500	1262	—60,4	—41,6
13.04.2024	Лоста	ВЛ80 ^С -665/1	801	734	9,07	840	1262	—33,4	—36,5
13.04.2024	Лоста	ВЛ80 ^С -665/2	916	1037	—11,7	1000	1110	—9,9	—17,5
16.04.2024	Лоста	ВЛ80 ^С -665/1	1186	1221	—2,9	1150	1262	—8,9	—6,0
16.04.2024	Лоста	ВЛ80 ^С -665/2	1114	1216	—8,4	1100	1262	—12,8	—11,7
		Итого	14 900	14 425	3,3	14 753	15 868	—7,0	—6,1

Обсуждение и заключение. Полученные в исследовании результаты позволили определить существующие в текущей эксплуатации параметры расхода электроэнергии на маневровую работу, выполняемую электровозами. Она характеризуется достаточно широким диапазоном загрузок и большим разнообразием используемых серий электровозов. В 2023 г. электровозы использовались для выполнения как горочных, так и перестановочных маневров на 19 станциях, всего было задействовано 13 разных серий электровозов. Средний за смену расход электроэнергии находился в диапазоне 490–2695 кВт·ч. Статистическая обработка данных по маршрутам машиниста показала, что не для всех станций и их отдельных парков возможно определение среднего расхода электроэнергии даже за довольно длительный период (например, год). Возможно оперировать только диапазоном изменения этого расхода, так как коэффициент вариации превышает допустимое значение 0,33. Такая ситуация отмечена для станций Березники, Кропачёво, Златоуст и Куйбас. Для ряда станций средний за год расход электроэнергии может быть определен, но по ограниченному набору календарных месяцев. Это, например, парк 1 станции Дёма и станции Металлургическая, Ачинск-1, Магнитогорск-Грузовой, Карталы-2. Связанная с этими фактами неравномерность загрузки электровоза должна учитываться как при рассмотрении вопроса о разработке специализированных маневровых электровозов, в т. ч. контактно-аккумуляторных, так и вопроса о перспективных объемах их использования.

С учетом отсутствия в настоящее время специальных маневровых электровозов (кроме узкоспециализированного локомотива ЭМКА2) важным является обоснованный выбор серии магистрального электровоза, в наибольшей степени подходящего для использования на маневровых работах. При имеющемся крайне ограниченном и неинформативном наборе данных по фактической загрузке маневровых электровозов в официальной отчетности перспективным направлением анализа эффективности расхода электроэнергии при маневрах является использование данных БКРП. Эти данные даже в условиях, когда БКРП оборудованы не все эксплуатируемые на станциях электровозы, позволят получить такие характеристики, как скоростной диапазон, соотношение времени передвижений и стоянок, потребная мощность и связанное с этим наличие возможности асинхронного нагружения секций. Указанная информация может быть получена в т. ч. с разбивкой по отдельным маневровым районам. Использование данных БКРП позволит повысить достоверность и объективность как при оценке эффективности использования при маневрах существующих серий электровозов, так и при обосновании разработки специализированных маневровых электровозов.

Выводы. Достигнутые в эксплуатации результаты, совпадающие с теоретическими предпосылками, показывают эффективность применения для маневровой работы на станциях, электрифицированных на постоянном токе, электровозов с большей сцепной массой, позволяющей за счет меньшего времени разгона снизить пусковые потери.

С целью экономии электроэнергии целесообразно практиковать использование вместо целого магистрального электровоза отдельных его секций, так как при отдельных видах маневровой работы их мощности и тяговых качеств достаточно для передвижения обрабатываемых групп вагонов с допустимыми при выполнении маневров скоростями.

При нормировании расхода электроэнергии на маневровую работу в современных условиях необходимо активнее использовать данные БКРП. При этом целесообразно учитывать такие параметры, как фактические значения суммарного времени движения и стоянки в каждой рабочей смене, а также соответствующие этим режимам среднестатистические для данной станции маневровой работы значения потребляемой мощности.

Благодарности: автор выражает благодарность рецензентам за полезные замечания и советы, способствовавшие улучшению статьи.

Acknowledgments: the author expresses his gratitude to the reviewers for their constructive comments, improving the quality of the article.

Финансирование: автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the author received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов и не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Контактно-аккумуляторные электровозы для маневровой работы / С.П. Вакуленко [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2023. № 9. С. 37–40. EDN: <https://www.elibrary.ru/hrjxc>.
Vakulenko S. P., Kolin A. V., Sokolov M. Yu., Rybakov P. V., Bakin A. A. Contact-accumulator electric locomotives for shunting operations. *Zheleznodorozhnyy transport*. 2023;(9):37-40. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/hrjxc>.
2. Использование контактно-аккумуляторных электровозов для маневровой работы на станциях / Ю.М. Иньков [и др.] // Наука и техника транспорта. 2014. № 4. С. 9–15. EDN: <https://www.elibrary.ru/tbdfkb>.
Inkov Yu. M., Kosmodamianskiy A. S., Fedyaeva G. A., Feoktistov V. P. Use of contact-accumulator electric locomotives for shunting operations at stations. *Science and technology in transport*. 2014;(4):9-15. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/tbdfkb>.

3. Особенности проектирования контактно-аккумуляторного маневрового электровоза / П. Г. Колпахчан [и др.] // Электротехника. 2021. № 10. С. 15–20. EDN: <https://www.elibrary.ru/iwzfd0>.
- Kolpakchyan P. G., Evstafev A. M., Nikitin V. V., Zarifyan A. A., Talakhadze T. Z. Design features of a contact-battery shunting electric locomotive. *Electrical Engineering*. 2021;(10):15-20. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/iwzfd0>.
4. Штанг А. А., Ярославцев М. В. Контактно-аккумуляторный маневровый электровоз с накопителем энергии на основе литий-ионных аккумуляторов // Электроника и электрооборудование транспорта. 2016. № 1. С. 13–16. EDN: <https://www.elibrary.ru/vqhaaf>.
- Shtang A. A., Yaroslavtsev M. V. Battery-electric shunting locomotive with lithium-ion storage batteries. *Elektronika i elektrooborudovaniye transporta*. 2016;(1):13-16. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/vqhaaf>.
5. Проблема перевода на электрическую тягу маневровой работы на железнодорожном транспорте / Ю. М. Иньков [и др.] // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2015. № 6. С. 9–14. EDN: <https://www.elibrary.ru/twphdx>.
- Inkov Yu. M., Kosmodamianskiy A. S., Feoktistov V. P., Tretinnikov O. V. The problem of transfer of shunting to electric traction at railways. *Transport: science, equipment, management*. 2015;(6):9-14. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/twphdx>.
6. Забелло М. Л., Баранов А. М. Маневровые локомотивы электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1967. 150 с.
- Zabello M. L., Baranov A. M. Shunting locomotives of electrified railways. Moscow: Transport Publ.; 1967. 150 p. (In Russ.).
7. Пути снижения расхода топлива в маневровой работе на железнодорожных станциях / В. М. Овчинников [и др.] // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. 2010. № 2 (21). С. 151–158. EDN: <https://www.elibrary.ru/jbkzgg>.
- Ovchinnikov V. M., Pozhidaev S. A., Skrezhendevskiy V. V., Shvets N. G. Ways of decrease in the charge of fuel to shunting work on the railway stations. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: nauka i transport*. 2010;(2):151-158. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/jbkzgg>.
8. Сковородников Е. И., Анисимов А. С., Чулков А. В. Разработка методики нормирования расхода дизельного топлива на маневровую работу // Вестник транспорта Поволжья. 2013. № 5 (41). С. 22–38. EDN: <https://www.elibrary.ru/rqrbb>.
- Skovorodnikov E. I., Anisimov A. S., Chulkov A. V. The methods to set the norms of diesel fuel consumption for shunting operations. *Vestnik transporta Povolzhya*. 2013;(5):22-38. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/rqrbb>.
9. Влияние переходных процессов в силовой установке маневрового тепловоза на расход топлива в эксплуатации / В. В. Грачев [и др.] // Бюллетень результатов научных исследований. 2022. № 1. С. 48–67. EDN: <https://www.elibrary.ru/vsvamj>.
- Grachev V. V., Grishchenko A. V., Bazilevskiy F. Yu., Kurilkin D. N. Impact of Transition Processes in Propulsion of Shunting Diesel Locomotive on Fuel Consumption in Exploitation. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy*. 2022;(1):48-67. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/vsvamj>.
10. Современная методология технического нормирования расхода топливно-энергетических ресурсов локомотивами на тягу поездов: [монография] / Л. А. Мугинштейн [и др.]. М.: ВМГ-Принт, 2014. 144 с. (Труды ВНИИЖТ). EDN: <https://www.elibrary.ru/vtznns>.
- Muginshteyn L. A., Molchanov A. I., Vinogradov S. A. Modern methodology of technical rationing of fuel and energy consumption by locomotives for train traction: [monograph]. Moscow: VMG-Print Publ; 2014. 144 p. (Proceedings of the Railway Research Institute). (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/vtznns>.
11. Оптимизация энергетической эффективности маневровых тепловозов / М. О. Мусабеков [и др.] // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2017. № 1 (100). С. 65–69. EDN: <https://www.elibrary.ru/ynuwd>.
- Musabekov M. O., Baytusupov D. M., Bakyt G. B., Omirbek A. M. Optimization of power efficiency of shunting diesel locomotives. *The Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev*. 2017;(1):65-69. (In Kaz., Russ., Eng.). EDN: <https://www.elibrary.ru/ynuwd>.
12. Деордиев А. Г., Назаров Л. С., Зозулев А. К. Внедряются обоснованные нормы расхода топлива для маневровых тепловозов // Локомотив. 2004. № 2. С. 20–22.
- Deordiev A. G., Nazarov L. S., Zozulev A. K. Introduction of reasonable fuel consumption rates for diesel shunters. *Locomotive*. 2004;(2):20-22. (In Russ.).
13. Оценка факторов, влияющих на перерабатывающую способность горки / Т. Г. Кузнецова [и др.] // Современные методы и принципы управления перевозочным процессом на транспорте: сб. тр. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Москва, 17–18 мая 2023 г. / под общ. ред. Г. М. Биленко, И. А. Трушиной. М., 2023. С. 202–208. EDN: <https://www.elibrary.ru/pixvfe>.
- Kuznetsova T. G., Kuznetsova A. N., Simachkova I. V., Buksha A. V. Assessment of factors affecting hump yard capacity. In: Bilenko G. M., Trushina I. A. (eds.) *Modern methods and principles of transportation management: Proceedings of the scientific and practical conference with international participation, 17–18 May 2023, Moscow*. Moscow; 2023. p. 202–208. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/pixvfe>.
14. Маринин С. А. Оценка влияния погодных условий на расход электроэнергии в моторвагонной тяге на примере Горьковской железной дороги // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения (Вестник РГУПС). 2023. № 4 (92). С. 193–200. https://doi.org/10.46973/0201-727X_2023_4_193.
- Marinin S. A. Assessment of the influence of weather conditions on electric energy consumption in motor car traction by the example of the Gorky Railway. *Vestnik RGUPS*. 2023;(4):193-200. (In Russ.). https://doi.org/10.46973/0201-727X_2023_4_193.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кирилл Михайлович ПОПОВ,

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, НЦ «Цифровые модели перевозок и технологии энергосбережения» (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, 10), Author ID: 1080218, <https://orcid.org/0000-0003-2284-8144>

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kirill M. POPOV,

Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Digital Models of Transportation and Energy Saving Technologies Scientific Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 1080218, <https://orcid.org/0000-0003-2284-8144>

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The author has read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 13.09.2024, рецензия от первого рецензента получена 07.10.2024, рецензия от второго рецензента получена 11.10.2024, рецензия от третьего рецензента получена 21.10.2024, принята к публикации 05.11.2024.

The article was submitted 13.09.2024, first review received 07.10.2024, second review received 11.10.2024, third review received 21.10.2024, accepted for publication 05.11.2024.