



АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Оригинальная статья

УДК 629.424:629.4.063.6

DOI: 10.21780/2223-9731-2022-81-4-370-382

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



НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ УЧЕТА ТОПЛИВА ТЕПЛОВЗОВ

К. М. Попов

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Бортовые системы учета топлива тепловозов разных производителей отличаются как составом используемых датчиков, так и различным программным обеспечением для обработки данных регистрации. Это свидетельствует о том, что поиск путей повышения эффективности использования указанных систем в эксплуатации не завершен и является актуальной задачей.

Материалы и методы. В статье рассмотрены особенности определения расхода топлива по данным бортовых систем учета топлива тепловозов, связанные с различными способами определения моментов фиксации количества топлива в баке. Исследована возможность оценки влияния количества переключений позиций контроллера машиниста на показатели абсолютного и удельного расхода топлива.

Результаты. При отсутствии в составе бортовой системы датчика пути и скорости предлагается определять моменты фиксации количества топлива на основе анализа изменения сигналов датчиков уровня топлива по времени. Показан пример практической реализации данного решения. Также приведены результаты обработки данных бортовых систем, показывающие, что влияние наблюдаемого в рядовой эксплуатации маневровых тепловозов разброса количества переключений позиций контроллера на расход топлива сопоставимо с погрешностью определения этой величины по данным бортовых систем. Реализация в специализированном программном обеспечении, предназначенном для обработки данных бортовых систем, алгоритмов, позволяющих идентифицировать указанное влияние, актуальна только для случаев экстремальной (на порядок) разницы количеств переключений позиций контроллера в рабочих сменах.

Обсуждение и заключение. Эффективность практического использования информации от бортовых систем учета расходуемого тепловозом топлива во многом определяется качеством специализированного программного обеспечения. При разработке и совершенствовании программного обеспечения рекомендуется использовать рассмотренные в статье подходы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тепловоз, бортовая система регистрации, датчик пути и скорости, количество топлива в баке, расход топлива, позиция контроллера машиниста

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

Для цитирования: Попов К. М. Некоторые вопросы практического использования бортовых систем учета топлива тепловозов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2022. Т. 81, № 4. С. 370–382. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-4-370-382>.



AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 629.424:629.4.063.6

DOI: 10.21780/2223-9731-2022-81-4-370-382

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



PRACTICAL USE OF ON-BOARD FUEL METERING SYSTEMS OF DIESEL LOCOMOTIVES

Kirill M. Popov

Railway Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. On-board fuel metering systems for diesel locomotives created by different manufacturers differ both in the composition of the sensors used and in the software for processing the registration data. This indicates that the pursuit of better efficiency for these systems is still ongoing and is an urgent problem.

Materials and methods. The article discusses the problems of determining the fuel consumption according to the data of on-board fuel metering systems for diesel locomotives, associated with various methods for determining the moments of measuring the fuel amount in the tank. The possibility of estimating the influence of the number of position switches of the locomotive throttle on the indicators of absolute and specific fuel consumption has been studied.

Results. In the absence of distance and speed sensors in the on-board system, it is proposed to determine the moments of measurement of the fuel amount based on the analysis of changes in the signals of the fuel level sensors over time. The authors present an example of the practical implementation of this solution. The results of on-board systems data processing are also presented, showing that the effect of the spread in the number of throttle position switches observed in ordinary operation of diesel shunter on fuel consumption is comparable to the error in determining this value according to the on-board systems data. The implementation of algorithms in specialised software designed to process data from on-board systems that allow identifying the indicated influence is relevant only for cases of extreme (by an order of magnitude) difference in the number of switching throttle positions in work shifts.

Discussion and conclusion. The efficiency of the practical use of information from the on-board systems for metering fuel consumption of a diesel locomotive is largely determined by the quality of specialised software. When developing and improving software, it is recommended to use the approaches discussed in the article.

KEYWORDS: diesel locomotive, on-board registration system, distance and speed sensor, fuel amount in the tank, fuel consumption, locomotive throttle position

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

For citation: Popov K. M. Practical use of on-board fuel metering systems of diesel locomotives. *Russian Railway Science Journal*. 2022;81(4):370-382. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-4-370-382>.

Введение. В настоящее время значительная часть парка маневровых и определенная часть магистральных тепловозов оборудована бортовыми системами учета топлива (БСУТ), выполненными на основе микропроцессорных комплексов регистрации [1]. Данные системы позволяют в автоматическом режиме вести учет количества топлива в баке, контролировать показатели работы силовой установки и вспомогательного оборудования, регистрировать эту информацию на съемном или встроенном модуле памяти, а также передавать ее в стационарный пункт обработки информации с помощью сети ROPC GSM.

Функциональность данных систем оговорена разработчиками в технических условиях на эти системы, а также достаточно широко исследована [2–6]. При этом в связи с предельно общими требованиями к программному обеспечению, применяемому для анализа регистрируемых БСУТ параметров, в нормативном документе [7], в ряде публикаций [8–11] вполне обоснованно уточняется как набор актуальных функций, так и конкретный порядок использования данных от БСУТ. Несмотря на то, что полезность и эффективность БСУТ в принципе не подвергается сомнениям, важным при их дальнейшем производстве и внедрении является оптимизация количества датчиков, а при эксплуатации — качественное использование тех функций, объективность и достоверность которых подтверждена на практике, в первую очередь независимыми от производителей исследователями.

В данной статье рассматриваются отдельные вопросы, связанные с обработкой данных, регистрируемых БСУТ.

Определение количества топлива в баке при учете его расхода в эксплуатации. Для реализации функции учета расхода топлива, помимо аппаратных средств на борту тепловоза, необходимо реализованное в центрах обработки данных от БСУТ специализированное программное обеспечение (СПО), позволяющее для каждой поездки или рабочей смены машиниста определить расход топлива, а также выявить (при их наличии) набор и/или так называемое снятие топлива (при использовании в эксплуатации тепловоза в качестве заправочного средства). На основе указанных данных об изменении количества топлива в баке возможно в том числе составление баланса как для каждого тепловоза, так и по парку в целом за выбранный для отчета период (табл. 1), что обеспечивает объективный, в отличие от вручную полученных показаний, технологический учет расхода топлива.

В существующей в настоящее время системе «Электронный маршрут машиниста» (ЭММ) данные о количестве топлива в баке тепловоза, оборудованного БСУТ, в начале и конце рабочей смены должны поступать в автоматическом режиме. Однако машинист,

контролирующий заполнение данных ЭММ, имеет право скорректировать их по своему усмотрению через электронный терминал самообслуживания. Это связано с тем, что при автоматической фиксации количества топлива в ЭММ возможны неточности, обусловленные в том числе и отсутствием в технических требованиях к БСУТ [7] описания порядка фиксации количества топлива в баке.

Отметим, что определение изменения количества топлива непосредственно на борту тепловоза (в дополнение к имеющейся функции отображения количества топлива в баке) в бортовом ПО крайне затруднено. Это связано как с учетом невозможности полноценного определения в таком ПО достоверности показаний топливных датчиков, так и с учетом рассматриваемых ниже особенностей.

Важным этапом обработки данных в СПО является выявление режимов движения и стоянки тепловоза. Это необходимо для фиксации количества топлива в определенные моменты времени с целью последующего определения его изменения. Известно, что при оборудовании тепловозов БСУТ практикуется установка в топливный бак двух датчиков по диагонали. Это позволяет учесть как продольный, так и поперечный наклон при положении тепловоза на уклонах и в кривых участках пути. Однако для правильного определения количества топлива в баке необходимо учитывать также его форму и связанные с ней ограничения по углу наклона [10]. Указанные особенности касаются статических измерений, т. е. при неподвижном тепловозе.

При движении тепловоза, особенно в моменты разгона и торможения, даже с учетом наличия перегородок в баке, темпы изменения уровня топлива в диагонально установленных датчиках за счет наложения продольных и поперечных волн могут заметно отличаться (рис. 1).

Очевидно, что определение текущего значения количества топлива в баке возможно только при стационарном положении поверхности топлива. Данное условие гарантировано спустя определенное время после остановки тепловоза и при его последующих стоянках.

В случае наличия в составе БСУТ специального датчика пути и скорости (далее — ДПС) (табл. 2) задача определения стоянок решается достаточно просто (рис. 2).

Однако подобный датчик значительно увеличивает стоимость самой системы, в том числе затраты при оборудовании тепловоза, и усложняет ее обслуживание. Поэтому отдельные производители БСУТ в процессе их производства заменили ДПС на приемник GPS/Глонасс, а другие использовали указанный приемник вместо ДПС с момента начала производства. Существует возможность использования сигнала от штатного ДПС систем безопасности (КЛУБ, КПД). Тем не менее не все эксплуатируемые тепло-

Таблица 1

Образец отчета с реализацией функции учета расхода топлива тепловозами депо за месяц

Table 1

Sample report with the implementation of the function of fuel consumption metering of the diesel locomotives of a depot for one month

№ п/п	Бортовой №	Время, ч				Расход топлива		Набор	Топливо в баке		Баланс «+» — неучтенный набор, «-» — неучтенный расход
		всего	зарегистриванное	работа дизеля		общий	не по назначению		в начале	в конце	
				с нагрузкой	на холостом ходу						
1	ЧМЭЗ-2154	671,64	619,53	164,74	432,2	11 236	0	12 931	2 390	4 083	-2
2	ЧМЭЗ-2437	1242,41	4,24	0,15	1,96	54	0	1 889	2 613	4 448	0
3	ЧМЭЗ-2879	675,08	675,08	174,19	475,45	14 406	0	13 842	3 952	3 380	-8
4	ЧМЭЗ-3357	672,14	632,23	192,61	417,29	7 147	0	9 177	1 755	-	-
5	ЧМЭЗ-3509	1381,46	176,55	30,84	111,29	1 848	0	0	3 778	1 934	4
6	ЧМЭЗ-3511	688,81	256,73	46,66	151,34	4 404	0	3 365	3 262	2 225	2
7	ЧМЭЗ-3529	669,06	548,40	116,19	408,55	8 948	0	9 264	2 117	2 464	31
8	ЧМЭЗ-3530	671,28	632,79	194,44	421,28	10 942	0	10 147	3 313	2 516	-2
9	ЧМЭЗ-3534	461,71	442,65	97,78	327,06	6 721	0	5 728	2 710	1 715	-2
10	ЧМЭЗ-3548	671,95	603,62	105,62	445,05	8 373	0	9 343	3 215	4 191	6
11	ЧМЭЗ-3551	671,78	671,78	157,08	501	9 556	0	9 711	2 426	2 595	14
12	ЧМЭЗ-3555	657,41	657,40	180,34	440,15	9 751	0	10 009	2 934	3 195	3
13	ЧМЭЗ-3612	521,42	507,32	92,66	352,58	7 540	0	7 390	3 694	3 591	47
14	ЧМЭЗ-3638	615,54	615,53	91,73	521,09	9 124	0	8 997	3 827	3 697	-3
15	ЧМЭЗ-3691	671,65	671,65	167,23	483,95	11 935	0	13 693	1 778	3 534	-2
16	ЧМЭЗ-3704	672,17	657,73	100,17	513,56	8 806	0	8 566	3 195	2 966	11
17	ЧМЭЗ-3771	127,82	11,75	1,08	4,48	70	0	0	3 505	3 451	16
18	ЧМЭЗ-3979	410,46	410,45	65,23	206,01	2 906	0	0	3 788	882	0
19	ЧМЭЗ-4740	672	672	188,44	478,04	9 287	0	9 983	3 549	4 245	0
20	ЧМЭЗ-4809	176,89	120,08	19,38	84,98	2 566	0	0	4 382	1 811	-5
21	ЧМЭЗ-4811	667,38	637,06	152,15	469,7	10 899	119	10 756	2 508	2 394	29
22	ЧМЭЗ-4812	629,15	561,75	136,68	384,72	9 972	0	8 393	3 214	1 645	10
Итого		14 299,21	10 786,32	2 475,39	7 631,73	166 491	119	163 184	67 905	60 962	197

возы оборудованы системами КЛУБ и КПД, и даже при их наличии не для всех БСУТ реализовано получение имеющегося в КЛУБ и КПД сигнала ДПС.

Приемник GPS/Глонасс во многих случаях обеспечивает стабильный и качественный прием сигнала от спутников, однако в зоне малых скоростей нередко имеет погрешности, из-за которых в отдельных случаях определить стоянку довольно затруднительно. Особенно это актуально для маневровых тепловозов, учитывая преимущественные режимы движения с малыми скоростями, а также возможность работы на участках, где прием сигналов спутников GPS/Глонасс затруднен. Основными причинами, вызывающими затруднения при определении стоянок по сигналу приемника GPS/Глонасс, являются:

- задержки в появлении сигнала после начала движения тепловоза с малыми скоростями (рис. 3, по раз-

ным расшифровкам данных зафиксированы задержки до 28 с);

- отсутствие сигнала по скорости при неуверенном приеме сигналов спутников (рис. 3);

- ложные значения скорости при гарантированной стоянке тепловоза (рис. 4).

Анализ ряда расшифровок данных БСУТ в сравнении с контрольными замерами показал, что моменты, при которых возможно фиксировать количество топлива в баке, допустимо определять по изменению сигналов датчиков уровня топлива в баке с учетом условия:

$$|h_{л_i} - h_{п_i}| - |h_{л_{i-1}} - h_{п_{i-1}}| < \Delta h, \quad (1)$$

где $h_{л_i}$ и $h_{л_{i-1}}$ — измеренный левым датчиком уровень топлива в баке в текущий и предыдущий момент времени; $h_{п_i}$ и $h_{п_{i-1}}$ — измеренный правым датчиком

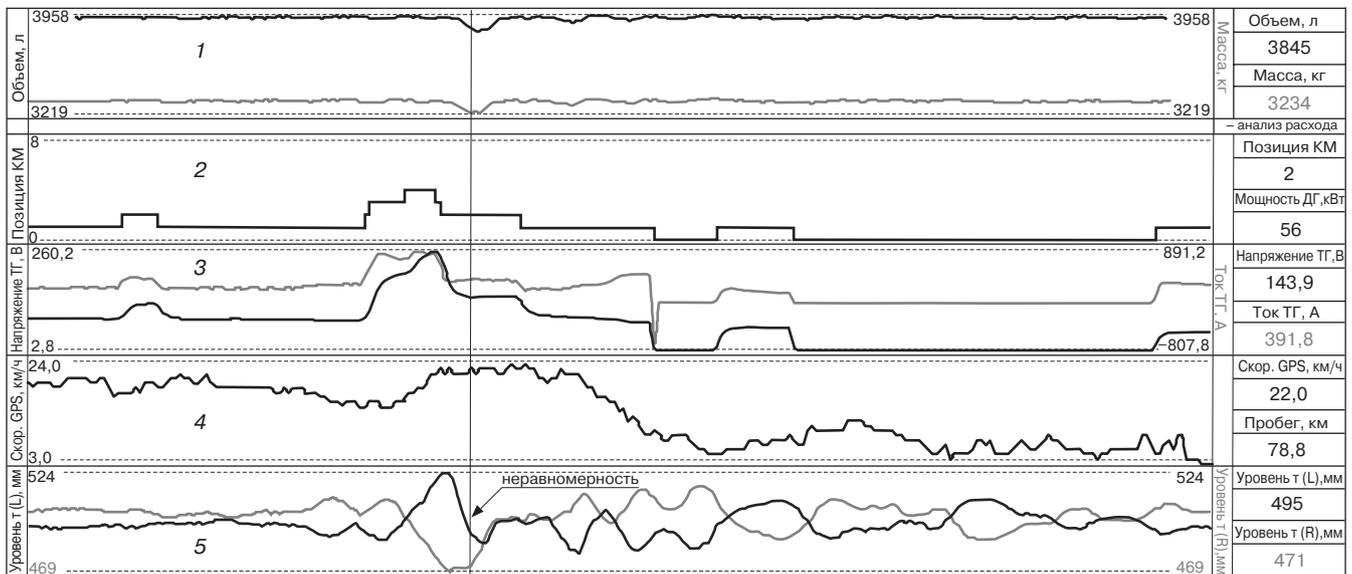


Рис. 1. Образец расшифровки данных БСУТ с указанием неравномерности изменений уровня топлива в левом и правом датчиках топлива при движении тепловоза:

1 — изменение объема и массы топлива; 2 — изменение позиции контроллера машиниста (КМ); 3 — изменение тока и напряжения тягового генератора (ТГ); 4 — изменение скорости движения; 5 — изменение уровня топлива

Fig. 1. Sample data decoding of the on-board fuel metering system, indicating the unevenness of changes in the fuel level in the left and right fuel sensors when the locomotive is moving:

1 — change in volume and mass of fuel; 2 — change in the position of the locomotive throttle (LT); 3 — change in current and voltage of the traction generator (TG); 4 — change in the movement speed; 5 — fuel level change

Таблица 2

Характеристики бортовых устройств учета расхода топлива тепловозами согласно документации производителей

Table 2

Characteristics of on-board fuel consumption metering devices for diesel locomotives according to manufacturers' documentation

Характеристика	Бортовое устройство			
	АПК «БОРТ»	РПРТ	АСК	АСК ВИС
Условия съема показаний по количеству топлива в баке	Не оговорено	Не оговорено	Не ранее 3 мин после полной остановки тепловоза при заглушенном дизеле	Не ранее 20 мин после полной остановки тепловоза при заглушенном дизеле
Наличие в составе системы ДПС, устанавливаемого на буксе колесной пары	Нет	Наличие определяется годом выпуска	Нет	Нет

уровень топлива в баке в текущий и предыдущий момент времени; Δh — допустимое изменение разности уровней топлива в баке, отличающее квазистационарный процесс от динамического.

В отличие от нередко используемой в практике разности полусумм уровней топлива по датчикам, характеризующей с ограничениями в соответствии с [10] изменение среднего уровня, изменение разностей по выражению (1) позволяет выявлять непосредственно неравномерность изменений уровня топлива в датчи-

ках, исключая при этом изменения уровня, связанные с расходом топлива.

Очевидно, что перед использованием условия (1) на основе ряда логических проверок сочетаний сигналов датчиков топлива, а также сигналов о режимах работы дизель-генераторной установки (ДГУ) определяется исправность каждого из датчиков топлива.

При несомненно справедливом замечании о важности учета особенностей конструкции и исполне-

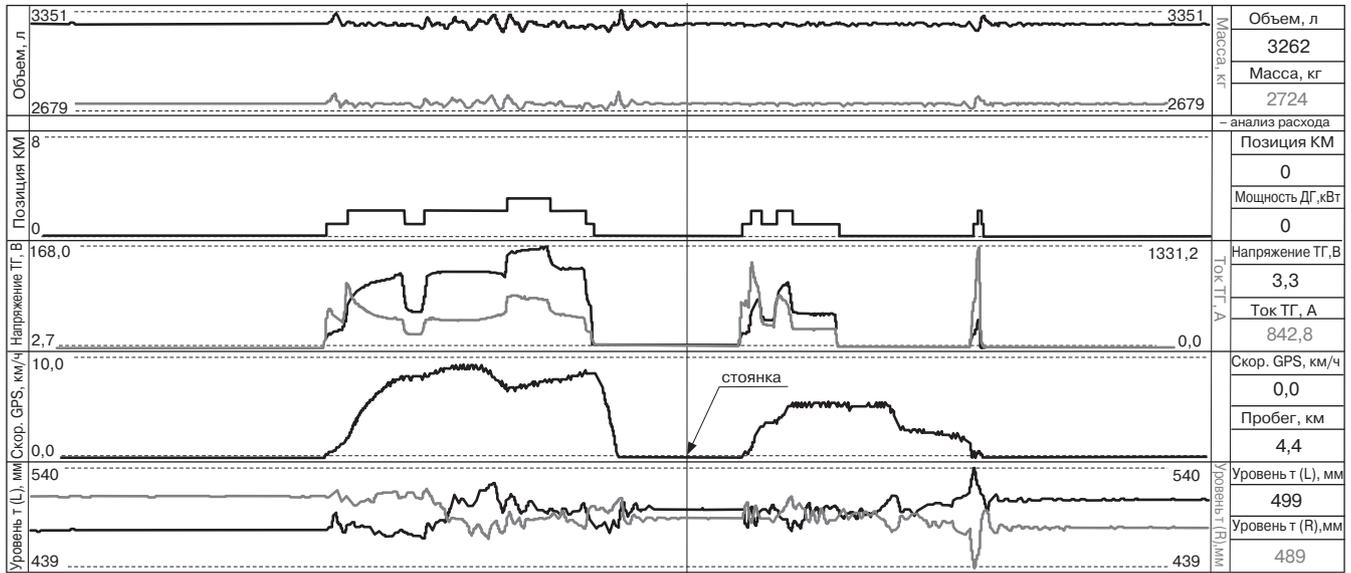


Рис. 2. Образец расшифровки данных БСУТ с указанием мест стоянок по показаниям ДПС

Fig. 2. Sample data decoding of the on-board fuel metering system with indication of parking places according to the indications of the distance and speed sensors

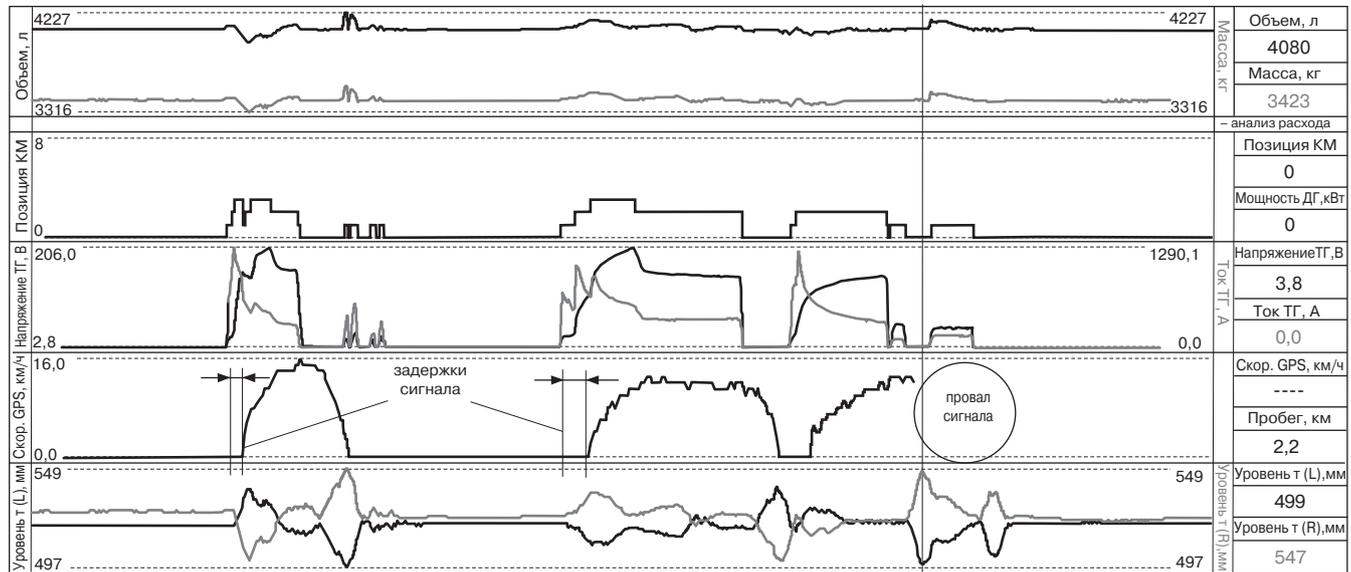


Рис. 3. Образец расшифровки данных БСУТ с указанием задержек и провалов сигнала по скорости от GPS

Fig. 3. Sample data decoding of the on-board fuel metering system indicating delays and signal dips in speed from GPS

ния каждого конкретного тепловоза [2] по результатам обработки данных регистрации системы РПРТ (КНГМ.421429.004 ТУ) удалось определить величину временного смещения двух точек фиксации значений уровня топлива, а также предельную величину изменения разности отклонений уровня по датчикам Δh , позволяющие использовать условие (1) в практических целях.

Отметим, что при использовании условия (1) в СПО определение количества топлива в баке также возможно при движении тепловоза в течение длительного времени с равномерной скоростью на выезде. В отдельных случаях это повышает оперативность контроля и функциональность данных БСУТ.

На конкретном примере покажем работу условия (1). Из рис. 5 видно, что сигнал по скорости в БСУТ

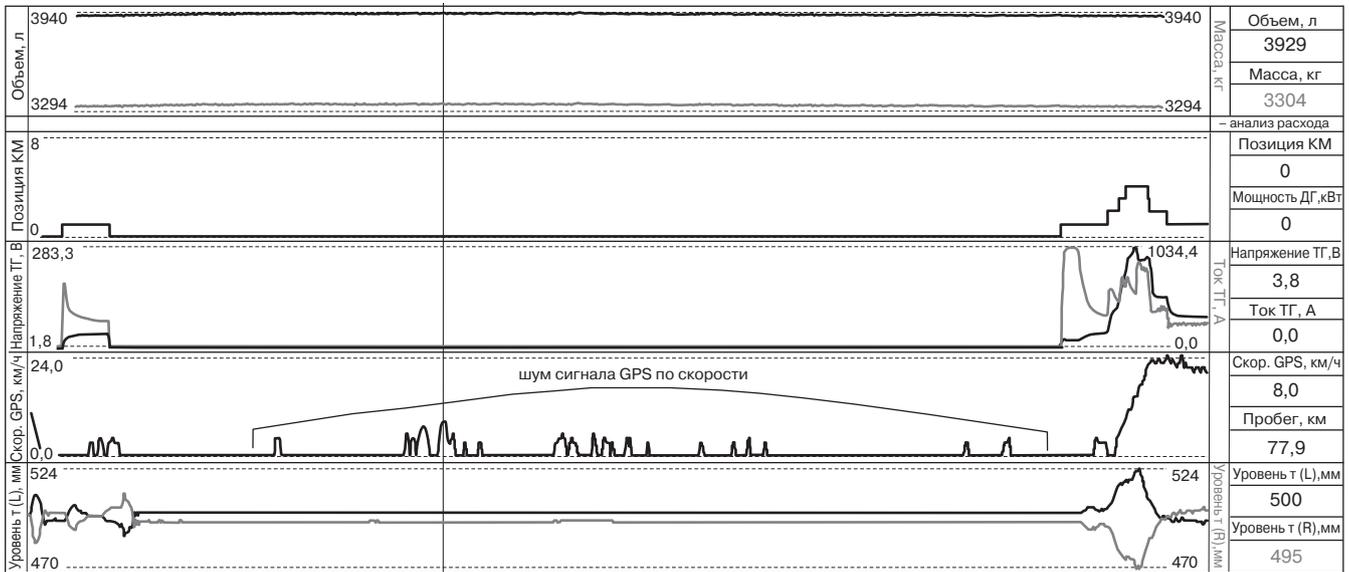


Рис. 4. Образец расшифровки данных БСУТ с указанием шума сигнала по скорости от GPS при неподвижном тепловозе

Fig. 4. Sample data decoding of the on-board fuel metering system indicating signal noise by speed from GPS with a stationary locomotive

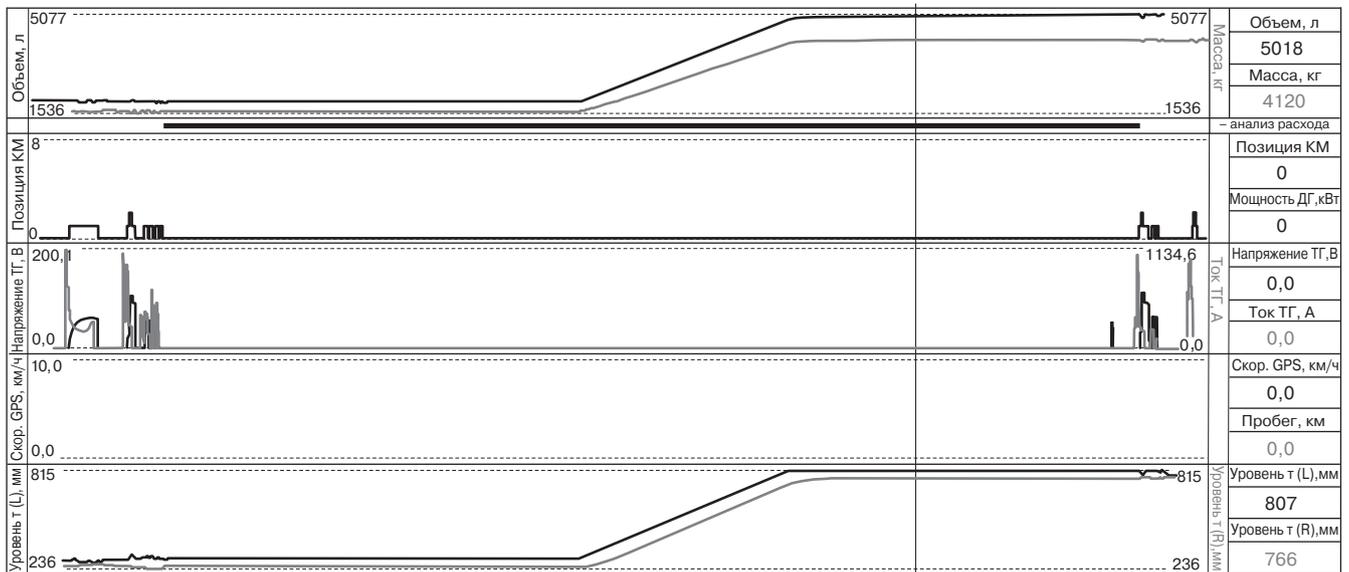


Рис. 5. Образец расшифровки данных БСУТ с указанием времени фиксации в СПО набора топлива в бак тепловоза

Fig. 5. Sample data decoding of the on-board fuel metering system indicating the time of refuelling of a locomotive in specialised software

отсутствует. Линией под графиками изменения объема и массы топлива выделен диапазон времени, в течение которого в программе был определен набор топлива.

На рис. 6 приведены места фиксации начала и окончания набора топлива в более крупном масштабе.

Аналогично условие (1) используется для определения количества топлива в начале и конце поездки или рабочей смены машиниста и при необходимости при других стоянках.

Отдельно отметим, что для БСУТ, в которых присутствует сигнал ДПС, оценка разности изменений уровня топлива по условию (1) при гаранти-

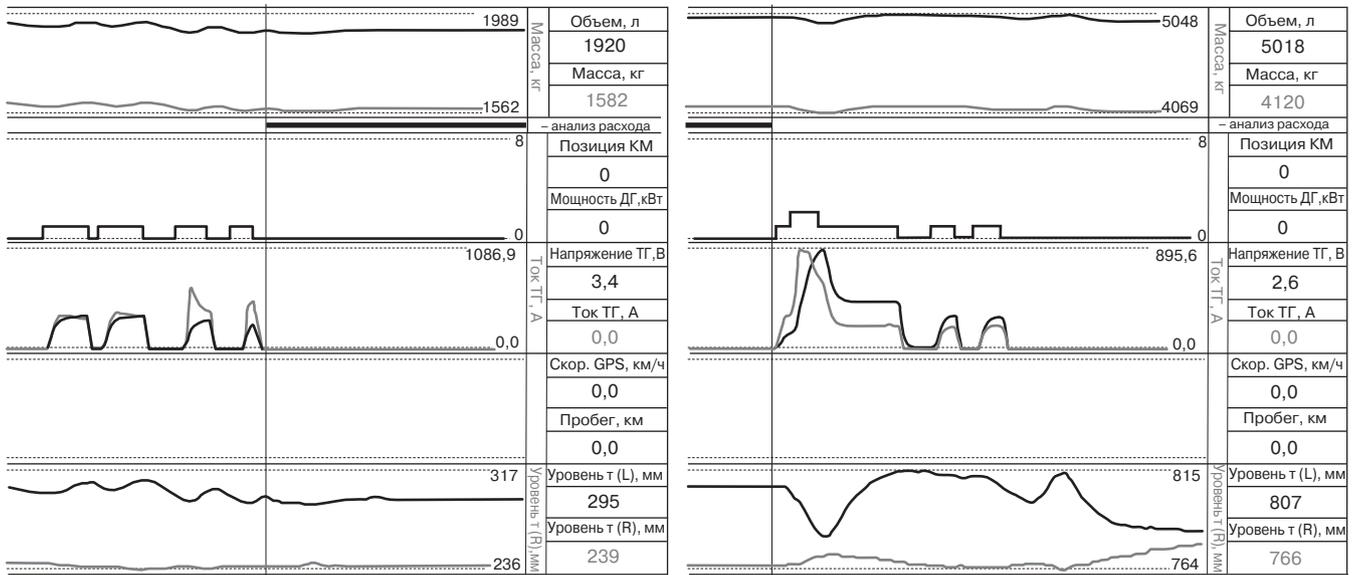


Рис. 6. Отметки фиксации начала и окончания набора топлива (укрупненно)

Fig. 6. Marks for fixing the beginning and end of refuelling (enlarged)

рованном движении тепловоза позволяет выявить ряд неисправностей в каналах измерения уровня топлива.

Оценка влияния количества переключений позиций контроллера машиниста на расход топлива при маневровой работе. При оценке эффективности использования маневрового тепловоза, помимо показателей его загрузки [12], важным является эффективность расходования топлива. Последняя, в свою очередь, определяется как техническим состоянием ДГУ на преимущественных для маневровой работы режимах [13] и качеством ее настройки [14, 15], так и количеством и продолжительностью переходных режимов нагружения ДГУ. Известно [2, 16–18], что ДГУ маневрового тепловоза под нагрузкой крайне мало работает в установившихся режимах. Это связано с необходимостью частого изменения позиции контроллера и скачкообразными увеличениями или уменьшениями нагрузки.

В указанных публикациях характеристикой переходных режимов нагружения является количество изменений машинистом позиций контроллера (ПК). Например, в [14] отмечено, что частота переключения ПК машиниста составляет 4–6 раз в минуту, в [18] указано, что среднее для всех видов маневров количество переключений ПК составило 35 раз за час работы тепловоза. В [17] приведена оценка влияния количества переключений ПК на удельный расход топлива: при 4–5 переключениях в минуту увеличение расхода оценено в 14,7% по сравнению с паспортным значением. Оценка изменения абсолютного расхода топлива

в [17] показана для конкретного случая: увеличение частоты переключения ПК с 2,3 до 22,4 раза в минуту привело к перерасходу топлива на 65 кг за смену работы машиниста.

Очевидно, что, несмотря на существенное различие в загрузке ДГУ при разных видах маневровой работы, как абсолютное, так и удельное количество переключений ПК зависит и от машиниста. При наличии на тепловозе БСУТ отслеживание количества указанных переключений ПК вполне возможно. Однако насколько возможно по данным БСУТ более актуальное для практики выявление и отслеживание связи этого параметра с расходом топлива в настоящий момент не определено.

По аналогии с данными в [17] (подчеркнем, что для их получения были проведены специальные испытания) приведем результаты, полученные с помощью БСУТ в рядовой эксплуатации, по количеству переключений ПК (с практическим разбросом данных) и абсолютному расходу топлива. В табл. 3 и 4 приведены результаты обработки данных БСУТ тепловоза ЧМЭ3-2614 при его эксплуатации на двух разных участках маневровой работы, включающие количество переключений ПК за смену (на километр общего пробега за смену и на минуту времени нагрузки) и расхода топлива за смену работы машиниста, при близких условиях выполнения работы. В качестве характеристики этих условий в табл. 3 и 4 для отобранных пар рабочих смен приведены значения относительного времени работы под нагрузкой и фактического пробега по данным ДПС.

Таблица 3

Результаты обработки данных БСУТ на участке маневровой работы «МЛРЗ», станция Перово

Table 3

Results of data processing of the on-board fuel metering system at the Moscow Locomotive Repair Plant shunting operation site, Perovo station

Дата смены, машинист	Доля времени работы под нагрузкой, %	Пробег, км	Количество переключений ПК		Расход топлива, кг
			на 1 км	за 1 мин	
22/23 января, машинист А	21	17,7	77,9	9,5	136
24/25 января, машинист Б	22	16,7	57,4	6,3	128
Разность			20,5	3,2	8
23 января, машинист Б	25	23,4	63,5	8,6	167
26 января, машинист Б	26	24,1	50,4	6,8	146
Разность			13,1	1,8	21

Таблица 4

Результаты обработки данных БСУТ на участке маневровой работы «Москва-Товарная», станция Сокольники

Table 4

Results of data processing of the on-board fuel metering system at the Moscow-Tovarnaya shunting operation site, Sokolniki station

Дата смены, машинист	Доля времени работы под нагрузкой, %	Пробег, км	Количество переключений ПК		Расход топлива, кг
			на 1 км	за 1 мин	
21/22 ноября, машинист В	35	64,5	43,6	11,6	190
26/27 ноября, машинист Д	35	63	35,1	9,1	169
Разность			8,5	2,5	21
22/23 декабря, машинист В	36	57,7	54,7	12,7	200
28/29 ноября, машинист Е	37	53,7	39,1	8,2	181
Разность			15,6	4,5	19

Согласно [11] среднеквадратичное значение случайной ошибки измерения общего расхода топлива за смену в БСУТ оценивается на уровне 13 кг, что для маневровой работы составляет 5–10 % от обще-

го расхода. Видно, что имеющаяся в табл. 3 и 4 разность значений абсолютного расхода топлива сопоставима с указанной погрешностью определения этой величины в БСУТ. Кроме того, выборочная проверка не может гарантированно свидетельствовать о связи расхода топлива именно с интенсивностью переключений ПК. Однако результаты выборки за 70 смен работы тепловоза ЧМЭ3-2614 подтверждают практически отсутствие этой связи (рис. 7).

Это связано с тем, что изменение расхода топлива определяется не только интенсивностью переключения ПК, но и используемой мощностью ДГУ, для увеличения которой необходимо набрать соответствующую ПК. Поэтому для выявления степени влияния интенсивности переключений ПК на расход топлива должны сопоставляться рабочие смены с практически одинаковой средней реализованной мощностью ДГУ.

Получение соответствующей статистики требует довольно жесткого отбора данных, а значит, исследования значительного (несколько месяцев) периода времени. Соответственно, в данном случае не может идти речь об оперативной оценке.

Для понимания, возможна ли такая оценка в принципе за больший период, рассмотрим вопрос о степени влияния интенсивности переключения ПК на удельный эффективный расход топлива ДГУ. Помимо [17], сведения об указанном влиянии приведены в [19], где расчетное увеличение паспортного удельного расхода топлива (определенного для постоянных режимов нагружения ДГУ) от переменных режимов работы маневрового тепловоза предлагается учитывать коэффициентом корректировки, характеризующим темп набора и сброса мощности. Значение указанного коэффициента составляет 1,01–1,03. В [20] увеличение среднего удельного расхода в реальных переходных процессах по отношению к «идеальным» для магистральных тепловозов 2ТЭ116У оценено в 2,25 %.

На примере данных регистрации БСУТ за период в 6 месяцев по двум маневровым тепловозам ЧМЭ3 с бортовыми номерами 3412 и 3415 (табл. 5) рассмотрим средние значения удельного эффективного расхода топлива g_e для групп рабочих смен, отличающихся количеством переключений ПК за минуту.

С учетом известной зависимости g_e от средней эффективной мощности P_e , имеющей круто меняющийся характер в зоне малых мощностей, на уровне которых в большинстве случаев и работает маневровый тепловоз, данные были отобраны так, чтобы среднее значение P_e отличалось не более чем на 5 кВт. При расшифровке данных БСУТ значение P_e было определено в соответствии с [5] с учетом имеющейся

информации о работе вспомогательного оборудования тепловоза.

С целью увеличения статистической выборки учитывалось распределение рабочих смен по среднему за смену значению P_e (рис. 8, 9).

Для тепловоза ЧМЭ3-3412 данные отобраны в диапазоне 90–95 кВт, в указанном диапазоне паспортное значение g_e не нормируется, но если экстраполировать заводскую характеристику [21], то расчетное изменение g_e в указанном диапазоне изменения P_e составляет 0,41%. Для тепловоза ЧМЭ3-3415 данные отобраны в диапазоне мощности 65–70 кВт, в этом диапазоне расчетное изменение g_e составляет 0,47%.

Из результатов, приведенных в табл. 5, видно, что разброс величины g_e внутри отобранных групп рабочих смен, характеризуемый среднеквадратичным

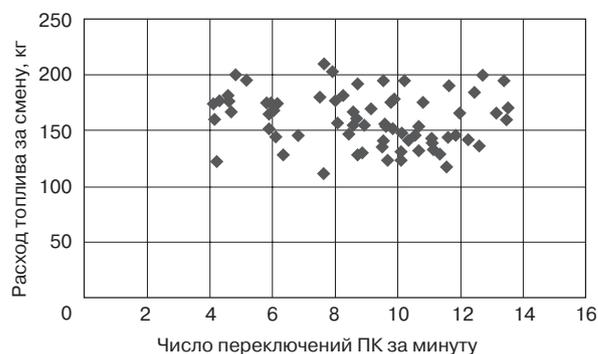


Рис. 7. Данные регистрации БСУТ тепловоза ЧМЭ3-2614 по 70 рабочим сменам

Fig. 7. Registration data of the on-board fuel metering system of a ChME3-2614 diesel locomotive for 70 work shifts

Таблица 5

Результаты обработки данных БСУТ за 6 месяцев

Table 5

Results of data processing of the on-board fuel metering system for 6 months

№ группы	Признаки отбора данных в группу	Число рабочих смен, ед.	Средний пробег, км	Среднее время нагрузки, %	Среднее количество переключений ПК		Средний расход топлива за смену, кг	Удельный эффективный расход топлива	
					ед.	на 1 км		среднее значение, кг/кВт·ч	среднеквадратичное отклонение, кг/кВт·ч
1	Тепловоз ЧМЭ3-3412 Средняя эффективная мощность дизеля, кВт, в диапазоне 90–95, число переключений ПК в минуту — не более 3	10	28,3	26,5	342	12,3	158	0,394	0,054
2	Тепловоз ЧМЭ3-3412 Средняя эффективная мощность дизеля, кВт, в диапазоне 90–95, число переключений ПК в минуту — более 3	17	29,7	18,9	512	20,4	143	0,409	0,041
							Разность	0,015	
3	Тепловоз ЧМЭ3-3415 Средняя эффективная мощность дизеля, кВт, в диапазоне 65–70, число переключений ПК в минуту — не более 3	17	29,3	25,9	330	11,6	144	0,416	0,079
4	Тепловоз ЧМЭ3-3415 Средняя эффективная мощность дизеля, кВт, в диапазоне 65–70, число переключений ПК в минуту — более 3	17	32,8	20,2	692	21,8	136	0,407	0,069
							Разность	– 0,009	

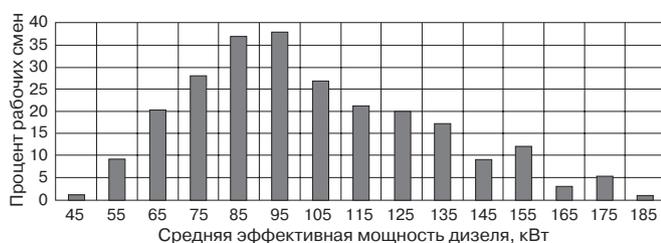


Рис. 8. Данные БСУТ за 6 месяцев работы тепловоза ЧМЭ3-3412

Fig. 8. Data of the on-board fuel metering system for 6 months of operation of a ChME3-3412 diesel locomotive

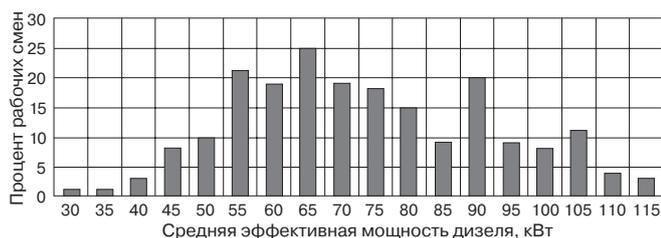


Рис. 9. Данные БСУТ за 6 месяцев работы тепловоза ЧМЭ3-3415

Fig. 9. Data of the on-board fuel metering system for 6 months of operation of a ChME3-3415 diesel locomotive

отклонением, заметно превышает разницу средних значений g_c в сравниваемых группах 1 и 2, 3 и 4. Это свидетельствует о том, что на величину g_c в большей степени, нежели количество переключений ПК, действуют другие факторы. Если сравнивать выборки по разным тепловозам, то разброс значений g_c будет определяться еще и заводским допуском на характеристики, так как нормативные значения удельного расхода топлива устанавливаются заводом-изготовителем для стандартных атмосферных условий и с 5%-м допуском [22].

Результаты исследования позволяют предположить, что на основе данных БСУТ отследить влияние интенсивности переключений ПК на удельный расход топлива практически возможно только при экстремальных различиях в этой интенсивности, аналогичных приведенным в [15], что не всегда встречается в рядовой эксплуатации. При этом диапазон изменения средней эффективной мощности в выборке должен находиться в таких пределах, при которых соответствующие по паспортной характеристике дизеля изменения удельного эффективного расхода топлива не превышают увеличения этой величины от переменных режимов нагружения ДГУ.

Очевидно, что по правилу «трех сигм» фиксация влияния интенсивности переключений ПК на удельный расход топлива может производиться в том случае, когда разница средних значений удельного эффективного расхода топлива в сравниваемых группах данных с разным удельным количеством переключе-

ний ПК более чем в 3 раза превышает среднее квадратичное отклонение удельного эффективного расхода в этих группах.

Заключение. Эффективность практического использования информации от систем учета расхода топлива тепловозами во многом определяется специализированным программным обеспечением обработки данных регистрации. Оригинальные алгоритмы этого программного обеспечения позволяют не только автоматизировать составление отчетов, содержащих важные и полезные данные об эффективности расходования топлива, но и оптимизировать, а в отдельных случаях и сократить количество используемых датчиков.

Помимо разработанных и утвержденных ОАО «РЖД» требований к бортовым системам учета топлива, актуальной является разработка единых технических требований к порядку обработки регистрируемых этими системами данных. Предварительно с привлечением отраслевой науки актуально определить достоверность как уже формируемых в специализированном программном обеспечении, так и перспективных показателей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чикиркин О.В. Совершенствовать систему учета топливно-энергетических ресурсов // Локомотив. 2018. № 8. С. 2–5.
2. Головаш А.Н., Бочаров В.М. Бортовые комплексы для локомотивов // Железнодорожный транспорт. 2004. № 10. С. 76–77.
3. Современные информационные технологии для тепловозов / А.В. Грищенко [и др.] // Локомотив. 2007. № 4. С. 18–24.
4. Головаш А.Н., Бочаров В.М., Кузнецов С.М. Эффективность использования бортовых систем учета топлива на локомотивах // Локомотив. 2008. № 11. С. 21–22.
5. Мугинштейн Л.А., Молчанов А.И., Попов К.М. Совершенствование системы учета и контроля расхода топлива маневровых тепловозов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2010. № 1. С. 8–18.
6. Игин В.Н., Захватов А.В., Карянин В.И. Автоматизация контроля расхода топлива // Локомотив. 2015. № 2. С. 13–17.
7. Технические требования к системам регистрации и анализа параметров работы тепловоза и учета дизельного топлива [Электронный ресурс]: утв. старшим вице-президентом ОАО «РЖД» В.А. Гапановичем 7 марта 2014 г. № 125. Доступ из АСПИЖТ.
8. Оценка точности измерения количества топлива в баке тепловоза гидростатическим измерителем / В.В. Грачёв [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2008. № 5. С. 29–32.
9. Науменко С.Н., Годнев А.Г. О достоверности учета дизельного топлива при экипировке локомотивов // Железнодорожный транспорт. 2011. № 2. С. 49–51.
10. Влияние формы бака и уклона пути на точность измерения количества топлива в баке тепловозов / М.В. Федотов [и др.] // Вестник Научно-исследовательского и конструкторско-технологического института подвижного состава (Вестник ВНИКТИ). 2015. № 97. С. 81–87.
11. Грачёв В.В., Грищенко А.В., Базилевский Ф.Ю. О достоверности прямых способов оперативного контроля энерго-

эффективности тепловозов в эксплуатации // Вестник института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2018. № 2. С. 40–48.

12. Дополнительные показатели использования маневровых локомотивов / В. В. Костенко [и др.] // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 2. С. 33–37.

13. Анисимов А. С., Минаков В. А., Носков В. О. Оценка влияния работы тепловоза на холостом ходу на износ деталей дизеля // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2022. № 1. С. 40–45. <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2022-1-40-45>.

14. Тарута В. Ф., Чулков А. В., Милютин Л. В. Технология контроля уровня мощности для настройки дизель-генераторной установки маневрового тепловоза с учетом условий эксплуатации // Известия Транссиба. 2018. № 1. С. 109–117.

15. Свечников А. А. Снижение удельного расхода топлива маневровыми тепловозами путем оптимизации параметров дизельной установки // Вестник транспорта Поволжья. 2021. № 3. С. 68–73.

16. Лямин В. А., Шкарин В. Н. Оценка технического уровня маневрового тепловоза // Совершенствование маневровых тепловозов, их ремонта и эксплуатации: сб. науч. тр. / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т ж.-д. транспорта; под ред. Л. С. Назарова. М.: Транспорт, 1985. С. 68–72.

17. Секирин Е. В. Эффективный путь экономии топлива на маневровой работе // Электрическая и тепловозная тяга. 1971. № 7. С. 18.

18. Исследование и анализ условий эксплуатации и расхода топлива тепловозами в маневровом движении / А. К. Белоглазов [и др.] // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: материалы Третьей Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Омск, 10–11 ноября 2016 г.) / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск: ОмГУПС, 2016. С. 48–52.

19. Патент № 2266529 Российская Федерация, МПК G01M 15/00, G01F 9/00. Способ контроля технического состояния силовой установки транспортного средства: № 2004102584/28: заявл. 29.01.2004; опубл. 20.12.2005 / Мугинштейн Л. А. [и др.]. 12 с.

20. Влияние переходных процессов дизель-генераторной установки тепловоза 2ТЭ116У на его эксплуатационные показатели / В. В. Грачев [и др.] // Локомотивы. XXI век: сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 110-летию со дня рождения д-ра техн. наук, профессора Е. Я. Гаккель (Санкт-Петербург, 15–16 октября 2013 г.) / Петербургский гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I, ОАО «Российские железные дороги». СПб.: ПГУПС, 2013. С. 146–147.

21. Швайнштейн Б. С., Майоров Э. Г., Шалаев С. С. Тепловозы ЧМЭЗ и ЧМЭ2. М.: Транспорт, 1975. 376 с.

22. Патент № 2591556 Российская Федерация, МПК G01M 17/08, B61C 5/00. Способ контроля технического состояния силовой установки железнодорожного транспортного средства: № 2015115795/11: заявл. 28.04.2015; опубл. 20.07.2016 / Бабков Ю. В. [и др.]. 11 с.

REFERENCES

1. Chikirkin O. V. Sovershenstvovat' sistemu ucheta toplivno-energeticheskikh resursov [Improvement of the metering system for fuel and energy resources]. *Lokomotiv = Locomotive*. 2018;(8):2-5. (In Russ.).

2. Golovash A. N., Bocharov V. M. Bortovye komplekсы dlya lokomotivov [On-board systems for locomotives]. *Zheleznodorozhnyy transport = Railway transport*. 2004;(10):76-77. (In Russ.).

3. Grishchenko A. V., Grachev V. V., Lavskiy V. G. et al. Sovremennye informatsionnye tekhnologii dlya teplovozoв [Modern information technologies for diesel locomotives]. *Lokomotiv = Locomotive*. 2007;(4):18-24. (In Russ.).

4. Golovash A. N., Bocharov V. M., Kuznetsov S. M. Effektivnost' ispol'zovaniya bortovykh sistem ucheta topliva na lokomotivakh [Efficiency

of using on-board fuel metering systems on locomotives]. *Lokomotiv = Locomotive*. 2008;(11):21-22. (In Russ.).

5. Muginshteyn L. A., Molchanov A. I., Popov K. M. Sovershenstvovanie sistemy ucheta i kontrolya raskhoda topliva manevrovyykh teplovozoв [Improving the system of metering and control of fuel consumption of shunting diesel locomotives]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta (Vestnik VNIIZhT) = Russian Railway Scientific Journal*. 2010;(1):8-18. (In Russ.).

6. Igin V. N., Zakhvatov A. V., Karyanin V. I. Avtomatizatsiya kontrolya raskhoda topliva [Automation of fuel consumption control]. *Lokomotiv = Locomotive*. 2015;(2):13-17. (In Russ.).

7. Tekhnicheskie trebovaniya k sistemam registratsii i analiza parametrov raboty teplovoza i ucheta dizel'nogo topliva [Technical requirements for systems for recording and analyzing the parameters of the operation of a diesel locomotive and metering of diesel fuel] (Electronic resource). Approved by Senior Vice President of Russian Railways V. A. Gapanovich dated March 7, 2014, No. 125. Access from ASPIZhT. (In Russ.).

8. Grachev V. V., Bazilevskiy F. Yu., Cheremisinov P. A., Popov A. V. Otsenka tochnosti izmereniya kolichestva topliva v bake teplovoza gidrostaticheskim izmeritelem [Assessment of the accuracy of measuring the amount of fuel in the tank of a diesel locomotive by a hydrostatic meter]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta (Vestnik VNIIZhT) = Russian Railway Scientific Journal*. 2008;(5):29-32. (In Russ.).

9. Naumenko S. N., Godnev A. G. O dostovernosti ucheta dizel'nogo topliva pri ekipirovke lokomotivov [On the reliability of accounting for diesel fuel when equipping locomotives]. *Zheleznodorozhnyy transport = Railway transport*. 2011;(2):49-51. (In Russ.).

10. Fedotov M. V., Koshcheev S. N., Bychkova E. A., Grachev V. V. Vliyaniye formy baka i uklona puti na tochnost' izmereniya kolichestva topliva v bake teplovozoв [Influence of the tank shape and track slope on the accuracy of measuring the amount of fuel in the tank of diesel locomotives]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo i konstruktorskotekhnologicheskogo instituta podvizhnogo sostava (Vestnik VNIKTI) = Bulletin of the Research and Design and Technology Institute of Rolling Stock*. 2015;(97):81-87. (In Russ.).

11. Grachev V. V., Grishchenko A. V., Bazilevskiy F. Yu. O dostovernosti pryamykh sposobov operativnogo kontrolya energoeffektivnosti teplovozoв v ekspluatatsii [On the reliability of direct methods of operational control of the energy efficiency of diesel locomotives in operation]. *Vestnik instituta problem estestvennykh monopolii: Tekhnika zheleznykh dorog = Bulletin of the Institute for Problems of Natural Monopolies: Railway Engineering*. 2018;(2):40-48. (In Russ.).

12. Kostenko V. V., Sugorovskiy A. V., Khomich D. I. et al. Dopolnitel'nye pokazateli ispol'zovaniya manevrovyykh lokomotivov [Additional indicators of the use of shunting locomotives]. *Transport Rossiyskoy Federatsii = Transport of the Russian Federation*. 2018;(2):33-37. (In Russ.).

13. Anisimov A. S., Minakov V. A., Noskov V. O. Otsenka vliyaniya raboty teplovoza na kholostom khodu na iznos detaley dizelya [Evaluation of the impact of locomotive idling on the wear of diesel parts]. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya = Herald of the Ural State University of Railway Transport*. 2022;(1):40-45. <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2022-1-40-45>. (In Russ.).

14. Taruta V. F., Chulkov A. V., Milyutina L. V. Tekhnologiya kontrolya urovnya moshchnosti dlya nastroyki dizel'-generatornoй ustanovki manevrovogo teplovoza s uchetom usloviy ekspluatatsii [Technology for controlling the power level for setting up a diesel generator set of a shunting diesel locomotive, taking into account operating conditions]. *Izvestiya Transsiba = Journal of Transsib Railway Studies*. 2018;(1):109-117. (In Russ.).

15. Svecnikov A. A. Snizheniye udel'nogo raskhoda topliva manevrovyyimi teplovozaми putem optimizatsii parametrov dizel'noy ustanovki [Reducing the specific fuel consumption of shunting diesel locomotives by optimizing the parameters of a diesel plant]. *Vestnik transporta Povolzh'ya = Bulletin of Transport of the Volga Region*. 2021;(3):68-73. (In Russ.).

16. Lyamin V. A., Shkarin V. N. Otsenka tekhnicheskogo urovnya maneirovogo teplovoza [Assessment of the technical level of a shunting diesel locomotive]. Sovershenstvovanie maneirovykh teplovozo, ikh remonta i ekspluatatsii [Improvement of shunting diesel locomotives, their repair and operation]. Procs. of All-Union Railway Research Institute. Moscow: Transport Publ.; 1985. P. 68–72. (In Russ.).

17. Sekerin E. V. Effektivnyy put' ekonomii topliva na maneirovoy rabote [An effective way to save fuel on shunting work]. *Elektricheskaya i teplovoznaya tyaga = Electric and diesel traction*. 1971;(7):18. (In Russ.).

18. Beloglazov A. K., Molchanov V. V., Noskov V. O., Chulkov A. V. Issledovanie i analiz usloviy ekspluatatsii i raskhoda topliva teplovozmami v maneirovom dvizhenii [Research and analysis of operating conditions and fuel consumption of diesel locomotives in shunting]. Ekspluatatsionnaya nadezhnost' lokomotivnogo parka i povyshenie effektivnosti tyagi poezdov [Operational reliability of the locomotive fleet and improving the efficiency of train traction]. Procs. of 3rd All-Russian sci.-tech. conf. with international participation (Omsk, November 10–11, 2016). Omsk: OmGUPS Publ.; 2016. P. 48–52. (In Russ.).

19. Muginshteyn L. A., Molchanov A. I., Povarkov I. L., Popov K. M. Patent No. 2266529 Russian Federation, MPK G01M 15/00, G01F 9/00. Sposob kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya silovoy ustanovki transportnogo sredstva [The method of monitoring the technical condition of the power plant of the vehicle]: No. 2004102584/28: appl. 29.01.2004: publ. 20.12.2005. 12 p. (In Russ.).

20. Grachev V. V., Kurilkin D. N., Kim S. I., Sergeev S. V. Vliyaniye perekhodnykh protsessov dizel'-generatornoy ustanovki teplovoza 2TE116U na ego ekspluatatsionnye pokazateli [Influence of transient processes of the diesel generator set of the diesel locomotive 2TE116U on its performance]. Lokomotivy. XXI vek [Locomotives. XXI century]. Procs. of the Int. sci.-tech. conf. dedicated to the 110th Anniversary of the birth of Dr. of Engineering Sciences, Professor E. Ya. Gakkel (St. Petersburg, October 15–16, 2013). St. Petersburg State University of Communications, Russian Railways. St. Petersburg: PGUPS Publ.; 2013. P. 146–147. (In Russ.).

21. Shvaynshteyn B. S., Mayorov E. G., Shalaev S. S. Teplovozy ChME3 i ChME2 [Diesel locomotives ChME3 and ChME2]. Moscow: Transport Publ.; 1975. 376 p. (In Russ.).

22. Babkov Yu. V., Belova E. E., Klimenko Yu. I. et al. Patent No. 2591556 Russian Federation, MPK G01M 17/08, B61C 5/00. Sposob kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya silovoy ustanovki zheleznodorozh-

nogo transportnogo sredstva [Method for monitoring the technical condition of the power plant of a railway vehicle]: No. 2015115795/11: appl. 28.04.2015: publ. 20.07.2016. 11 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кирилл Михайлович ПОПОВ,

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kirill M. POPOV,

Cand. of Sci. (Engineering), 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.*

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Financial transparency: the author has no financial interest in the presented materials and methods. There is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 12.06.2022, рецензия от первого рецензента получена 22.07.2022, рецензия от второго рецензента получена 25.07.2022, принята к публикации 01.11.2022.

The article was submitted 12.06.2022, first review received 22.07.2022, second review received 25.07.2022, accepted for publication 01.11.2022.



ТРУДЫ ВНИИЖТ

АСУ «Экспресс» — автоматизированная система управления пассажирскими перевозками на железнодорожном транспорте / под ред. А. В. Комиссарова. — 2-е изд. — Москва: РАС, 2019. — 68 с.

В книге рассмотрены бизнес-процессы пассажирских перевозок с использованием автоматизированной системы управления пассажирскими перевозками «Экспресс-3».

Во втором издании актуализированы и расширены описания текущего состояния информационных технологий системы «Экспресс-3», книга стала более удобной для чтения.

Издание предназначено для руководителей и инженерно-технического состава пассажирского комплекса; специалистов, связанных с разработкой и внедрением информационных технологий на российских железных дорогах; научных работников, преподавателей и студентов транспортных вузов.

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

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