

# ПРОБЛЕМАТИКА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

УДК 629.47:658.2

## Влияние переходных процессов в силовой установке маневрового тепловоза на расход топлива в эксплуатации

**В. В. Грачёв, А. В. Грищенко, Ф. Ю. Базилевский, Д. Н. Курилкин**

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** *Грачёв В. В., Грищенко А. В., Базилевский Ф. Ю., Курилкин Д. Н.* Влияние переходных процессов в силовой установке маневрового тепловоза на расход топлива в эксплуатации // Бюллетень результатов научных исследований. — 2022. — Вып. 1. — С. 48–67. DOI: 10.20295/2223-9987-2022-1-48-67

### Аннотация

**Цель:** Экспериментальная оценка влияния переходных процессов в силовой установке на эксплуатационную эффективность маневрового тепловоза по данным мониторинга его параметров в процессе эксплуатации.

**Методы:** В качестве исходных данных для анализа используются результаты непрерывного мониторинга значений параметров силовой установки тепловоза ТЭМ18, оборудованного системой электронного управления топливоподачей ЭСУВТ.01-06-03, системой автоматического управления электрической передачей тепловоза УСТА и системой удаленного контроля параметров АСК, при выполнении тяжелой маневровой работы. Оценка влияния переходных процессов выполнялась посредством сравнения действительного расхода топлива на 4–6 позициях контроллера с эталонным расчетным расходом в тех же режимах работы силовой установки тепловоза при отсутствии переходных процессов. **Результаты:** В результате статистического анализа измерительной формации показано, что, вопреки сложившемуся в среде специалистов локомотивного хозяйства устойчивому представлению о существенном влиянии переходных процессов в силовой установке маневрового тепловоза на эксплуатационный расход топлива и необходимости его учета в процессе нормирования, переходные процессы в дизель-генераторной установке ПДГ1М тепловоза ТЭМ2(18), оборудованной современными средствами управления дизелем и электрической передачей тепловоза, не влияют на эксплуатационный расход топлива и могут не учитываться при нормировании топлива на маневровую работу. Решение о необходимости и способе учета дополнительного расхода топлива в переходных процессах при нормировании его расхода на маневровую работу должно приниматься для каждой серии маневрового локомотива по результатам мониторинга параметров его силовой установки в эксплуатации. **Практическая значимость:** Результаты статьи позволяют повысить точность тяговых расчетов и достоверность нормирования расхода топлива на маневровую работу.

**Ключевые слова:** Тепловоз, расход топлива, удельный расход топлива, переходные режимы работы, система электронного управления впрыском, система автоматического управления электрической передачей тепловоза, дизель, тяговый генератор.

## Постановка задачи исследования

Одним из постоянных вопросов, периодически возникающих как в связи с проектированием силовых установок тепловозов, так и с их эксплуатацией, является вопрос о влиянии переходных режимов работы установки (дизеля) на эксплуатационную экономичность тепловоза. В качестве основной причины увеличения расхода топлива в переходных режимах работы дизель-генераторной установки (ДГУ) традиционно рассматривается инерционность системы воздухообеспечения дизеля с газотурбинным наддувом. Она обуславливает снижение коэффициента избытка воздуха и индикаторного к. п. д. дизеля в процессе раскрутки вращающихся масс как самого дизеля, так и связанных с его коленчатым валом агрегатов тепловоза при увеличении позиции контроллера машиниста. Анализ специальной литературы показывает, что количественные оценки перерасхода топлива, связанного с переходными режимами работы СУ в эксплуатации, существенно отличаются у разных авторов. Так, в классическом труде А. З. Хомича [1] при оценке среднеэксплуатационного КПД дизеля 10Д100 величина перерасхода топлива в переходных режимах работы принимается равной 3,7 % от эксплуатационного расхода. По данным ВНИИЖТ, для тепловоза ТЭП70 эта величина составляет 1,7 % [2]. По оценкам специалистов МИИТ, одним из результатов внедрения регулируемого привода газораспределительного механизма дизеля будет снижение среднеэксплуатационного расхода топлива на 7 % за счет повышения качества переходных процессов дизеля [3], из чего следует, что для серийных дизелей перерасход топлива в переходных процессах оценивается авторами на уровне 8–9 %. Специалистами ХИИТ под руководством А. З. Хомича на основании обработки результатов ряда опытных поездок на тепловозе 2ТЭ10Л была получена величина перерасхода 2,5–5 % [4].

Более определенной исследователям представляется ситуация с перерасходом топлива маневровыми тепловозами. По оценкам [5], для тепловоза ТЭМ2 он может достигать 6–8 %, что вполне согласуется с результатами, полученными для тепловоза серии ТЭМ7 [6], на котором оптимизация процесса нагружения дизеля на рабочих позициях контроллера позволила, по утверждению авторов, сократить среднеэксплуатационный расход топлива на 5 %. Соответственно, не подвергается сомнению необходимость учета дополнительного расхода топлива в переходных режимах работы силовой установки как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации жизненного цикла маневрового тепловоза [7].

Одна из основных сложностей в исследовании влияния переходных процессов на эксплуатационные показатели тепловозов до недавнего времени заключалась, на наш взгляд, в ограниченном объеме экспериментального материала, которым располагали исследователи. Большинство приведенных выше оценок

были получены либо по результатам стендовых испытаний дизель-генераторов, либо по результатам ограниченного количества опытных поездок с динамометрическими вагонами, либо даже в результате математического моделирования энергетической цепи тепловоза. Такие исследования позволяют эффективно решать задачи сравнения различных алгоритмов управления силовой установкой в переходных процессах, однако они не позволяют учесть всего многообразия режимов работы тепловоза в условиях реальной эксплуатации, обусловленного различием весов поездов, профиля пути, приемов управления локомотивом и его технического состояния, графика движения, атмосферных условий и т. д.

Целью работы является оценка влияния переходных процессов в силовой установке маневрового тепловоза на количество израсходованного топлива по данным непрерывной регистрации параметров установки в процессе эксплуатации.

## **Объект исследования**

В 2021 г. кафедрой локомотивов и локомотивного хозяйства Петербургского государственного университета путей сообщения и научно-исследовательским инжиниринговым центром компании Eurasian Resources Group (ERG) (Республика Казахстан) выполнена модернизация и опытно-промышленные испытания двух тепловозов серии ТЭМ18 и ТЭМ2, находящихся в собственности компании.

Целями опытно-промышленных испытаний являются, во-первых, оценка возможности повышения эксплуатационной эффективности маневровых тепловозов, выполняющих маневровую работу на угольных разрезах компании ERG, за счет модернизации системы автоматического регулирования дизель-генераторной установки и, во-вторых, сравнительная оценка возможных вариантов модернизации.

В ходе модернизации тепловоз серии ТЭМ18 был оборудован системой электронного управления топливоподачей дизеля ЭСУВТ.01.06-03 (ООО «ППП Дизельавтоматика»), унифицированной системой автоматического управления электрической передачей и электроприводом тепловоза УСТА и системой удаленного контроля параметров силовой установки АСК (без датчиков количества топлива в топливном баке) (АО «ВНИКТИ»).

Аналогичный комплект оборудования был установлен на тепловоз ТЭМ2, за исключением системы ЭСУВТ, вместо которой дизель тепловоза был оборудован электронным регулятором частоты вращения ЭРЧМ30Т4 (ООО «ППП Дизельавтоматика»).

Выполненная в ходе модернизации доработка оборудования позволила организовать непрерывный удаленный мониторинг параметров силовых установок локомотивов (рис. 1).

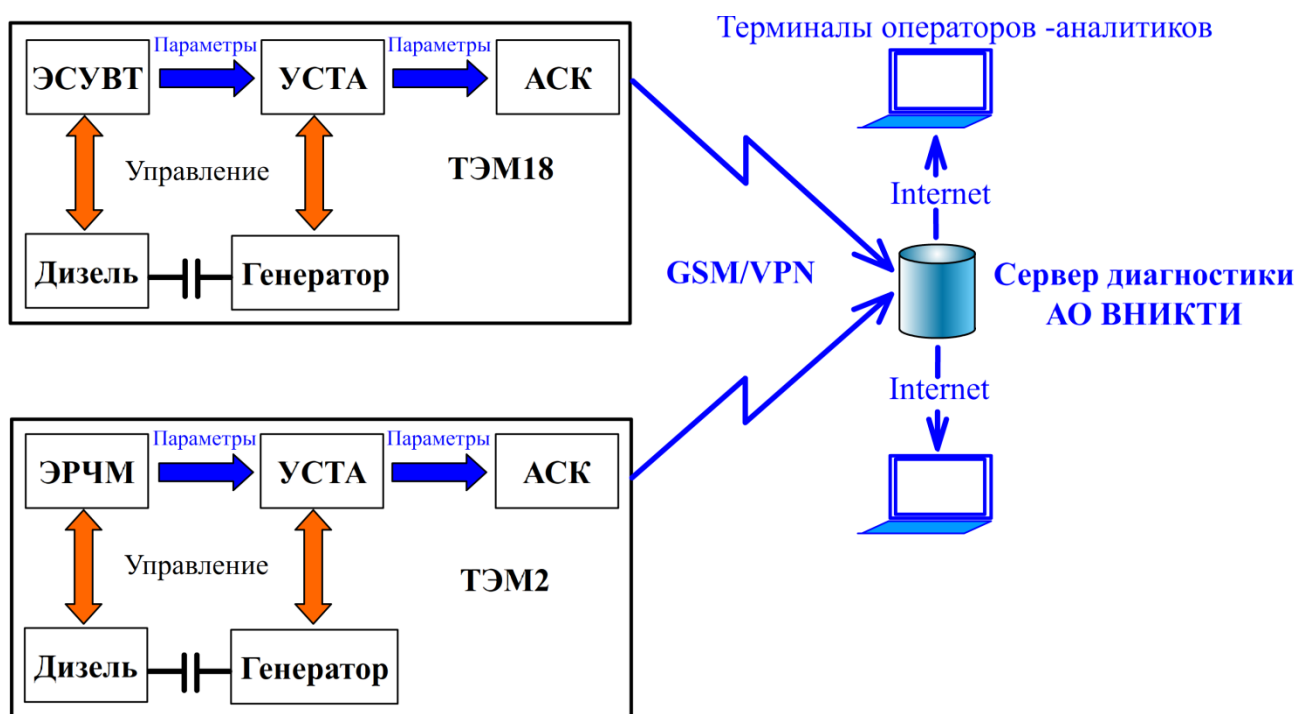


Рис. 1. Схема удаленного мониторинга модернизированных тепловозов

Перед модернизацией и после нее выполнялись реостатные испытания тепловозов с замером мгновенного расхода топлива на позициях контроллера, при этом использовался автоматический весовой измеритель расхода топлива тепловозом типа РТТ-02 (ООО «ППП Дизельавтоматика»).

Одной из задач, решаемых в процессе выполнения работы, является оценка возможности измерения количества топлива, израсходованного тепловозом в эксплуатации, средствами системы ЭСУВТ. С этой целью комплект оборудования системы был дополнен датчиками давления и температуры топлива, а в управляющей программе включена подпрограмма измерения мгновенного часового расхода топлива. В ходе реостатных испытаний тепловоза выполнена тарировка канала измерения мгновенного часового расхода с использованием сервисного программного обеспечения. Контрольные замеры расхода показали, что погрешность измерения расхода топлива средствами системы ЭСУВТ не превышает 1 % по отношению к результатам, полученным с помощью весового расходомера.

На рис. 2 приведена зависимость количества топлива, израсходованного тепловозом на рабочих позициях контроллера машиниста за одну смену (12 часов), от выполненной работы.

Для сравнения на рис. 3 приведены результаты измерения расходов топлива в течение того же периода с использованием роliko-лопастных расходомеров одной из автомобильных систем контроля топливоиспользования, которой тепловозы были оборудованы до модернизации.

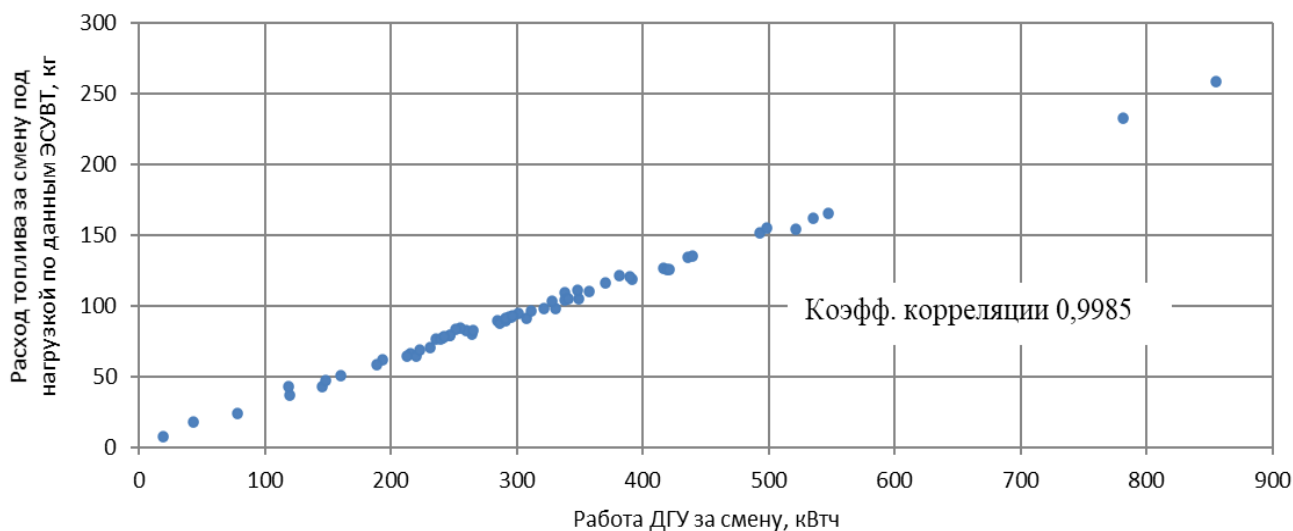


Рис. 2. Зависимость количества топлива, израсходованного тепловозом за смену (12 часов) под нагрузкой по данным ЭСУВТ, от выполненной работы в июле месяце 2021 г.

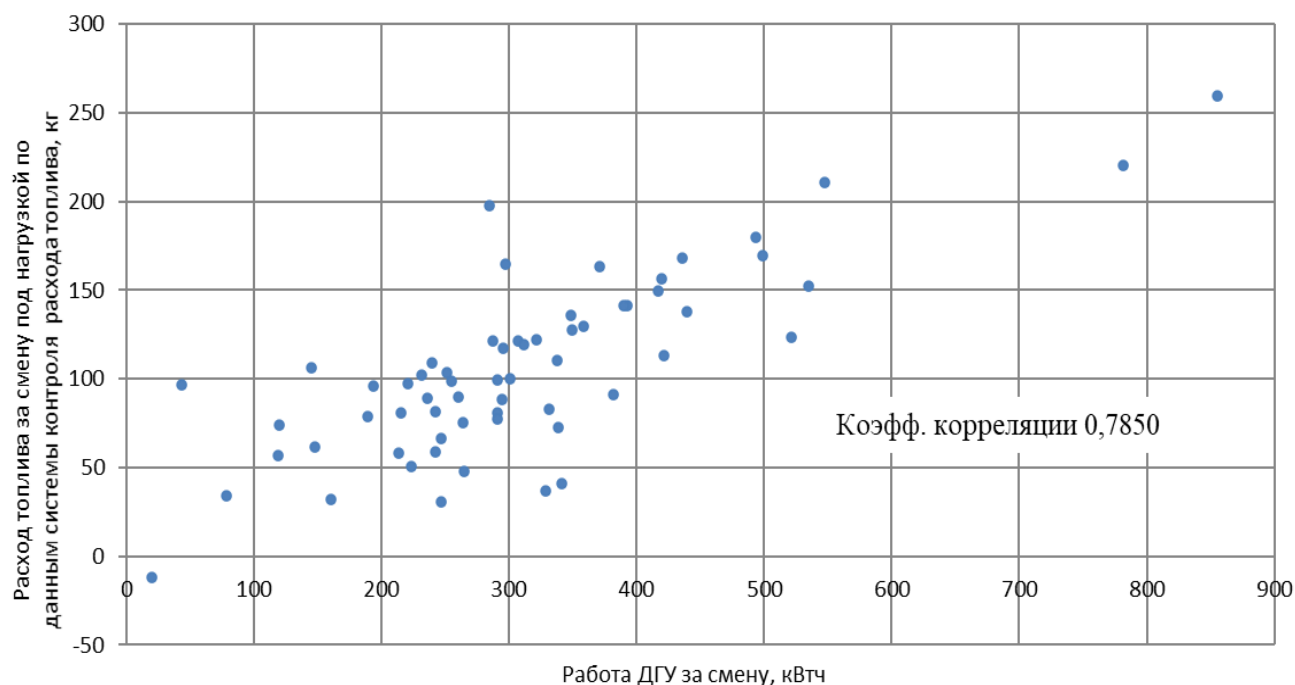


Рис. 3. Зависимость количества топлива, израсходованного тепловозом за смену (12 часов) под нагрузкой по данным объемных расходомеров, от выполненной работы в июле месяце 2021 г.

Как следует из рисунков, точность и достоверность измерения расхода топлива системой ЭСУВТ существенно превосходит аналогичный показатель для объемных расходомеров и позволяет решать широкий круг задач, связанный с измерением количества топлива, израсходованного тепловозом.

## Выбор метода исследования

В качестве показателя влияния переходных процессов в установке на количество израсходованного тепловозом топлива может рассматриваться относительная разность  $\overline{\Delta B}$  фактического количества  $B$  израсходованного топлива и расчетного эталонного количества  $B_0$  топлива, израсходованного тепловозом за тот же период эксплуатации, при работе ДГУ на таких же позициях контроллера машиниста и выполнении аналогичного объема работы, но при отсутствии переходных процессов при изменении позиций контроллера и мощности тягового генератора:

$$\overline{\Delta B} = \frac{B - B_0}{B}, \%. \quad (1)$$

Очевидно, достоверность оценки (1) в очень большой степени будет зависеть от способа определения эталонного расхода  $B_0$ , который, в свою очередь, определяется выбранным эталонным алгоритмом изменения режимов работы дизеля и электрической передачи, исключаяющим переходные процессы в звеньях энергетической цепи тепловоза.

Все переходные процессы, вызванные изменением режима работы силовой установки тепловоза, могут быть разделены на две группы.

К первой из них могут быть отнесены процессы, связанные с изменением позиции контроллера машиниста. Начальное и конечное установившееся состояние дизеля в таких процессах соответствует точкам его тепловозной характеристики.

Ко второй группе относятся переходные процессы, вызванные изменением мощности тягового генератора и вспомогательных нагрузок тепловоза. Изменения мощности генератора связаны как с возможной работой на участках ограничения тока и напряжения генератора, так и с включением/отключением ступеней ослабления возбуждения электродвигателей. При работе на участках ограничения тока или напряжения темп изменения мощности генератора соответствует темпу изменения скорости движения тепловоза, эффективная мощность дизеля в каждый момент времени примерно равна мощности нагрузки, что позволяет отнести такие режимы скорее к установившимся, чем к переходным. Включение/отключение вспомогательных нагрузок тепловоза является необходимым условием его нормального функционирования, что, наряду с относительно небольшой мощностью отключаемых нагрузок, также дает основание не учитывать такие процессы в качестве переходных.

Исходя из этих соображений, условия отбора режимов работы ДГУ для расчета эталонных значений расхода топлива  $B_0$  и удельного расхода  $g_{г0}$  могут быть определены следующим образом:



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ПКМ} = \text{const в течение } \Delta T > 60 \text{ с} \\ \frac{dP_{\text{ген}}}{dt} \langle 15 \text{ кВт / с в течение } \Delta T \rangle 30 \text{ с} \end{array} \right. \quad (2)$$

где ПКМ — позиция контроллера машиниста;

$P_{\text{ген}}$  — мощность тягового генератора, кВт;

$\Delta T$  — интервал времени, в течение которого выполняется условие, с.

Эталонный расход топлива  $B_0$  может определяться двумя способами:

1) исходя из условия постоянства эталонного часового расхода топлива  $b_{i0}$  на каждой  $i$ -й позиции контроллера в отсутствие переходных процессов;

2) исходя из условия постоянства эталонного удельного расхода топлива  $g_{r0i}$  на кВт·ч работы дизель-генератора на каждой  $i$ -й позиции контроллера в отсутствие переходных процессов.

Ожидаемый перерасход топлива в переходных режимах работы ДГУ связан с ухудшением качества рабочего процесса дизеля, одним из основных показателей которого является удельный расход топлива на единицу работы дизеля  $g_e$  (удельный эффективный расход) или, при невозможности определения работы дизеля, на единицу работы генератора  $g_r$ .

При ухудшении качества рабочего процесса и снижении эффективности использования химической энергии топлива в переходных режимах этот показатель, очевидно, будет возрастать.

Напротив, в установившемся режиме работы удельный эффективный расход топлива  $g_e$  дизеля на каждой позиции остается примерно постоянным и мало зависит от изменения мощности нагрузки в условиях реальной эксплуатации. Измеренный удельный расход на единицу работы генератора  $g_r$  изменяется в большей степени вследствие изменения мощности включенных вспомогательных нагрузок тепловоза, однако его средние значения, определяемые за период эксплуатации достаточной продолжительности, относительно стабильны.

Исходя из этих соображений, эталонный расход топлива за выбранный период эксплуатации может рассчитываться по формуле:

$$B_0 = \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{m_i} (g_{r0i} \cdot P_{rj} \cdot \Delta t_j / 3600), \text{ кг}, \quad (3)$$

где  $g_{r0i} = \frac{\sum_{k=1}^{n_i} b_{ik} \cdot \Delta t_k}{\sum_{k=1}^{n_i} P_{rk} \cdot \Delta t_k}$  — средний удельный расход топлива на кВт·ч работы ДГУ на

$i$ -й позиции контроллера в эталонных (установившихся) режимах работы, кг/кВт·ч;

$n_i$  — количество измерений (отчетов) параметров ДГУ в эталонных, т. е. удов-

летворяющих условиям (2), режимах на  $i$ -й позиции контроллера;

$b_{ik}$ ,  $P_{rk}$  — мгновенный часовой расход топлива и мощность тягового генератора в  $k$ -м эталонном режиме на  $i$ -й позиции контроллера, кг/ч;

$P_{rj}$  — мощность тягового генератора в  $j$ -м режиме, кВт;

$m_i$  — общее количество измерений (отсчетов) мощности тягового генератора на  $i$ -й позиции контроллера за выбранный период эксплуатации;

$\Delta t$  — шаг измерения параметров ДГУ, с.

Выбор эталонных режимов работы ДГУ в соответствии с условиями (2) показан на рис. 4.

Наряду со способом определения эталонного расхода топлива  $B_0$  и удельных расходов  $g_{r0i}$  достоверность оценок (1) и (3) зависит от точности их расчета. С целью оценки точности этих параметров в различных режимах работы силовой установки определены характеристики распределения среднесменных (12 ч) удельных расходов  $g_{ri}$  на рабочих позициях контроллера за месяц (рис. 5).

Как следует из рисунка, работа ДГУ на первых трех позициях контроллера характеризуется значительным разбросом значений реализуемых удельных расходов топлива на единицу работы генератора. Причем, как показывает анализ рис. 6, этот разброс никак не связан с переходными режимами работы ДГУ, но обусловлен изменением мощности тягового генератора.

В начале маневровой операции (рис. 6) (выполняются маневры «толчками») третья позиция контроллера набирается при скорости 4–5 км/ч, при этом мощность тягового генератора составляет 95–100 кВт, удельный расход топлива находится на уровне 0,304–0,320 кг/кВт·ч.

При переводе контроллера на третью позицию в конце маневровой операции скорость составляет уже 12 км/ч. Поскольку ослабление возбуждения тяговых электродвигателей на третьей позиции отключено, генератор попадает в режим ограничения напряжения, вследствие чего его мощность снижается до 38 кВт с увеличением удельного расхода до 0,472–0,496 кг/кВт·ч.

В то же время на четвертой — шестой позициях контроллера средние значения мощности генератора и удельного расхода топлива с изменением скорости движения тепловоза остаются примерно постоянными вследствие работы системы управления ослаблением возбуждения тяговых электродвигателей и существенно более высокого уровня ограничения напряжения генератора, что и подтверждается параметрами распределения значений удельных расходов на этих позициях (рис. 5).

Исходя из приведенных результатов, режимы работы ДГУ, учитываемые при анализе влияния переходных процессов на расход топлива, были ограничены четвертой — шестой позициями контроллера (более высокие позиции локомотивными бригадами не использовались).



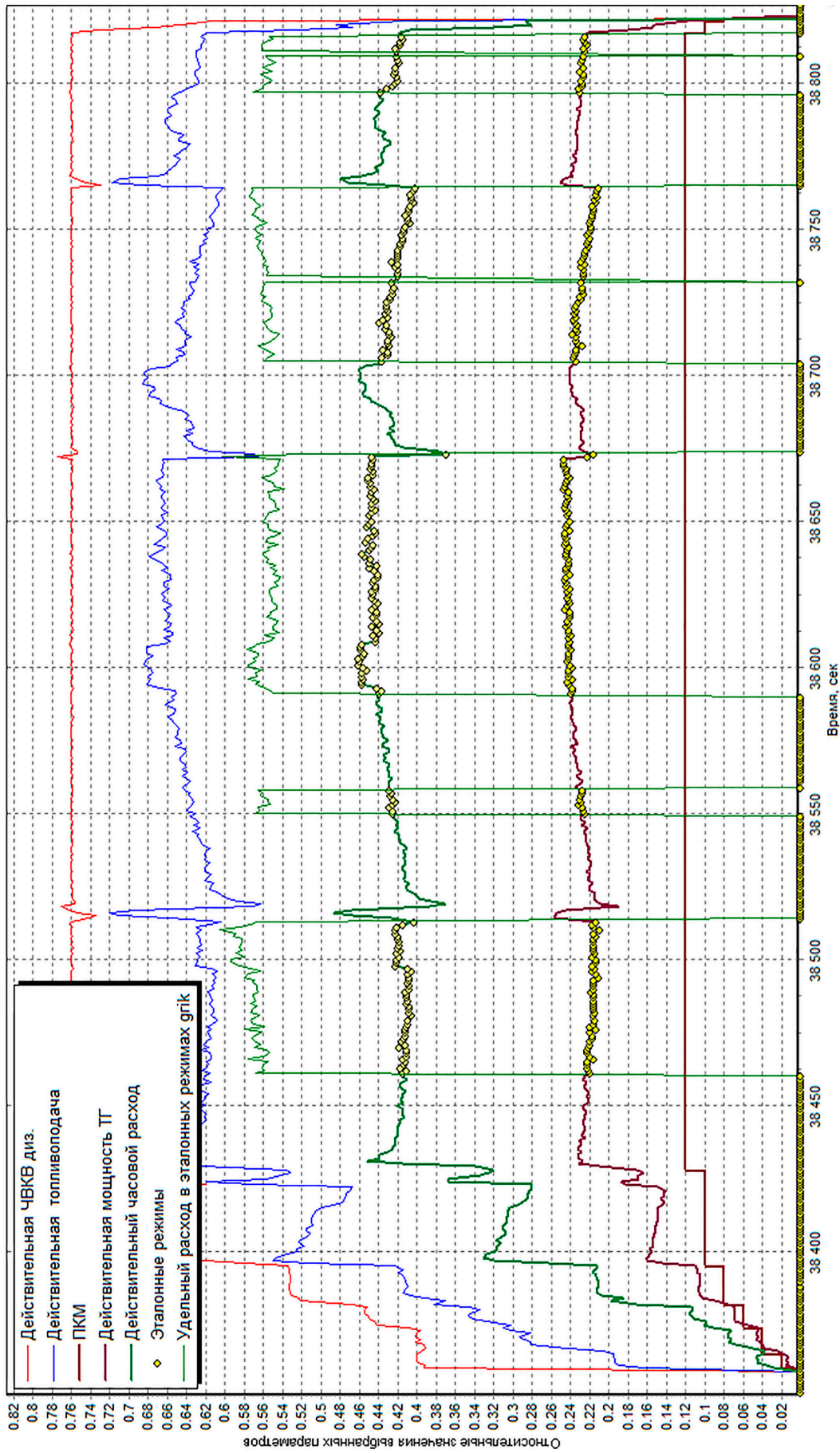


Рис. 4. Изменение действительных и эталонных параметров ДГУ маневрового теплового в процессе его работы

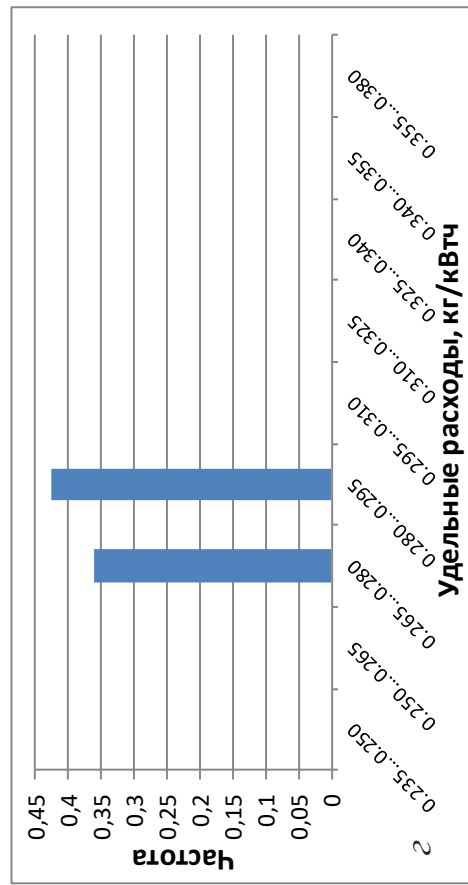
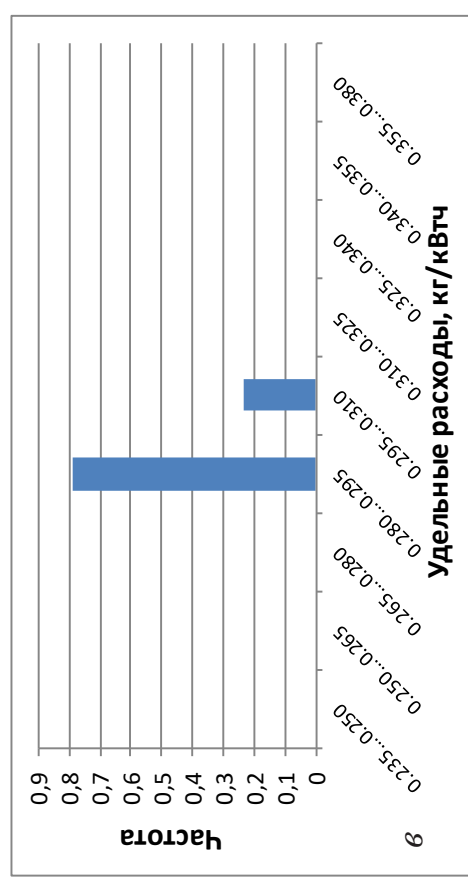
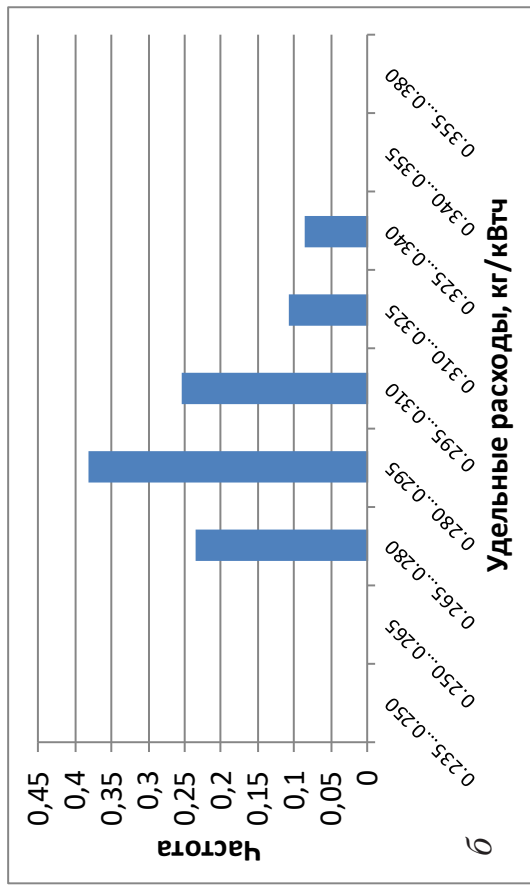
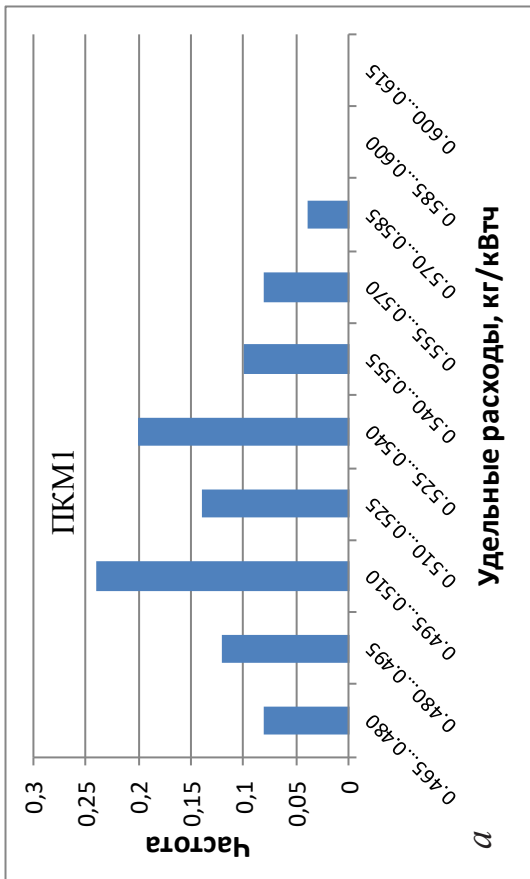


Рис. 5. Статистические характеристики выборки среднесменных удельных расходов на позициях контроллера

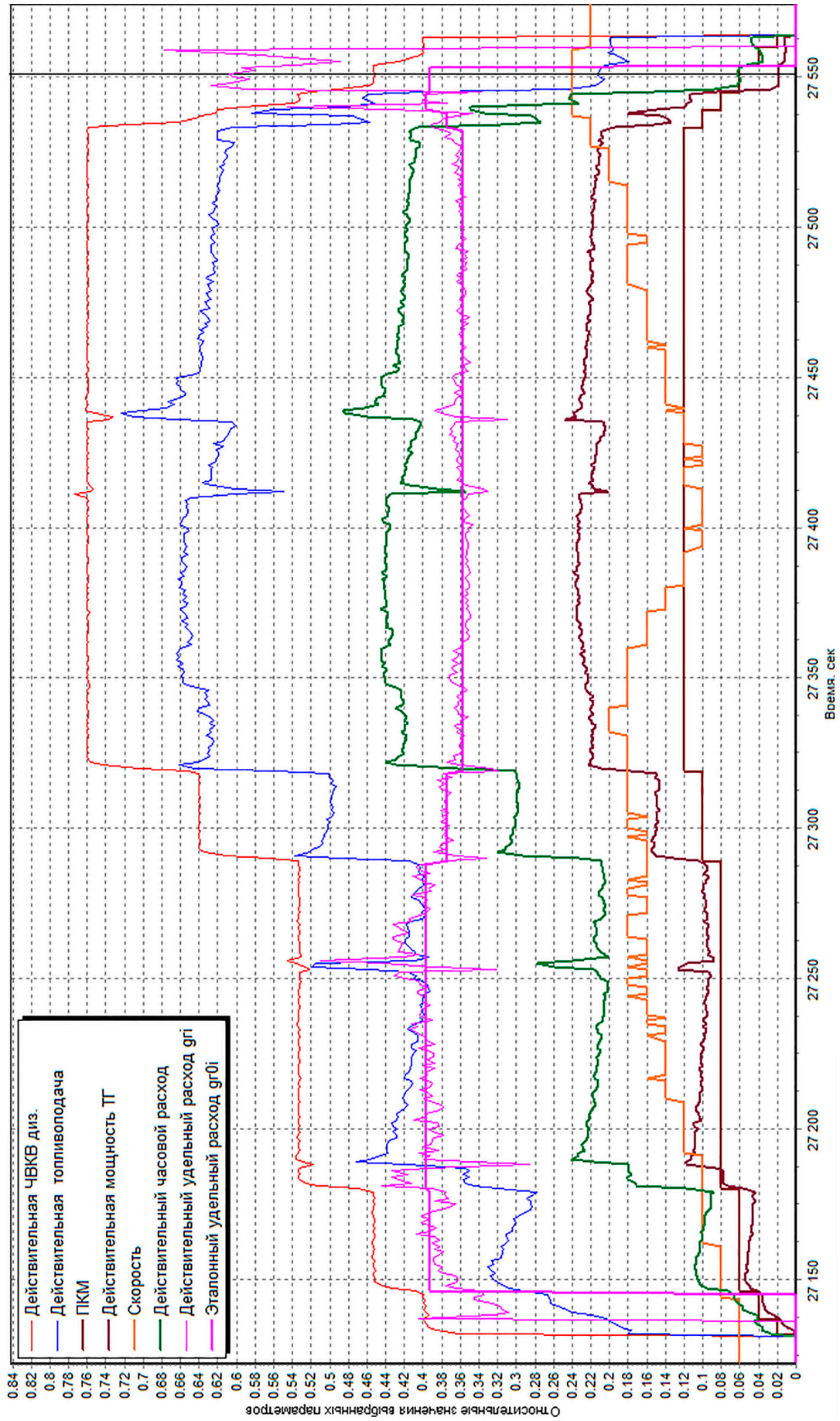


Рис. 6. Изменение действительных и эталонных параметров ДГУ при выполнении маневровой операции



Фрагмент таблицы результатов определения показателей работы тепловоза в июле месяце 2021 г. приведен в таблице.

ФРАГМЕНТ результатов определения эксплуатационных показателей работы тепловоза на 4–6-й позициях контроллера

Период	Работа ДГУ на 4–6 ПКМ, кВт·ч	Действ. расход на 4–6 ПКМ, кг	Расход в уст. режимах на 4–6 ПКМ, кг	$\overline{\Delta B}$ , %	Переключ. позиций
Смена 1	140,6	42,1	42,1	0,000	23
Смена 2	196,3	56,2	56,8	–1,068	36
Смена 3	312	92,8	93,4	–0,647	59
Смена 4	195,8	57,5	58	–0,870	34
Смена 5	294,1	84,9	85,2	–0,353	74
Смена 6	239,1	68,6	69	–0,583	25
Смена 7	827,6	243,7	244,2	–0,205	44
Смена 8	730,5	212,8	219,9	–3,336	45
Смена 9	180,1	52,1	52,2	–0,192	29
Смена 10	266,5	76,8	77,5	–0,911	44

## Результаты исследования

Статистические характеристики выборок относительных разностей расходов  $\overline{\Delta B}$  (1) представлены на рис. 7.

Выполненная проверка с использованием метода Е. И. Пустыльника [8] показала, что все выборки посменных значений относительной разности  $\overline{\Delta B}$  распределены по нормальному закону. Как следует из рис. 7, математическое ожидание относительной разности расходов  $\overline{\Delta B}$  на 4–6 позициях контроллера за четыре месяца работы тепловоза изменяется от  $(-0,599 \pm 0,095)$  % до  $(-1,043 \pm 0,11)$  %.

С учетом доли расхода топлива на этих позициях, не превышающей 50 % даже без учета расхода топлива на 1–3 ПКМ (рис. 8), соответствующие средние абсолютные значения относительных разностей  $\overline{\Delta B}$ , отнесенные к общему расходу топлива за смену (даже без учета расхода на 1–3 ПКМ) уменьшаются до 0,265–0,471 %, что меньше допустимой погрешности измерения расхода топлива дизелем в любой из систем контроля топливоиспользования, применяемых на отечественных тепловозах [9].

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что сложившееся устойчивое представление о существенном влиянии переходных процессов в силовой установке маневрового тепловоза на эксплуатационный расход топлива и необходимости его учета при планировании маневровой работы далеко не всегда соответствует действительности.

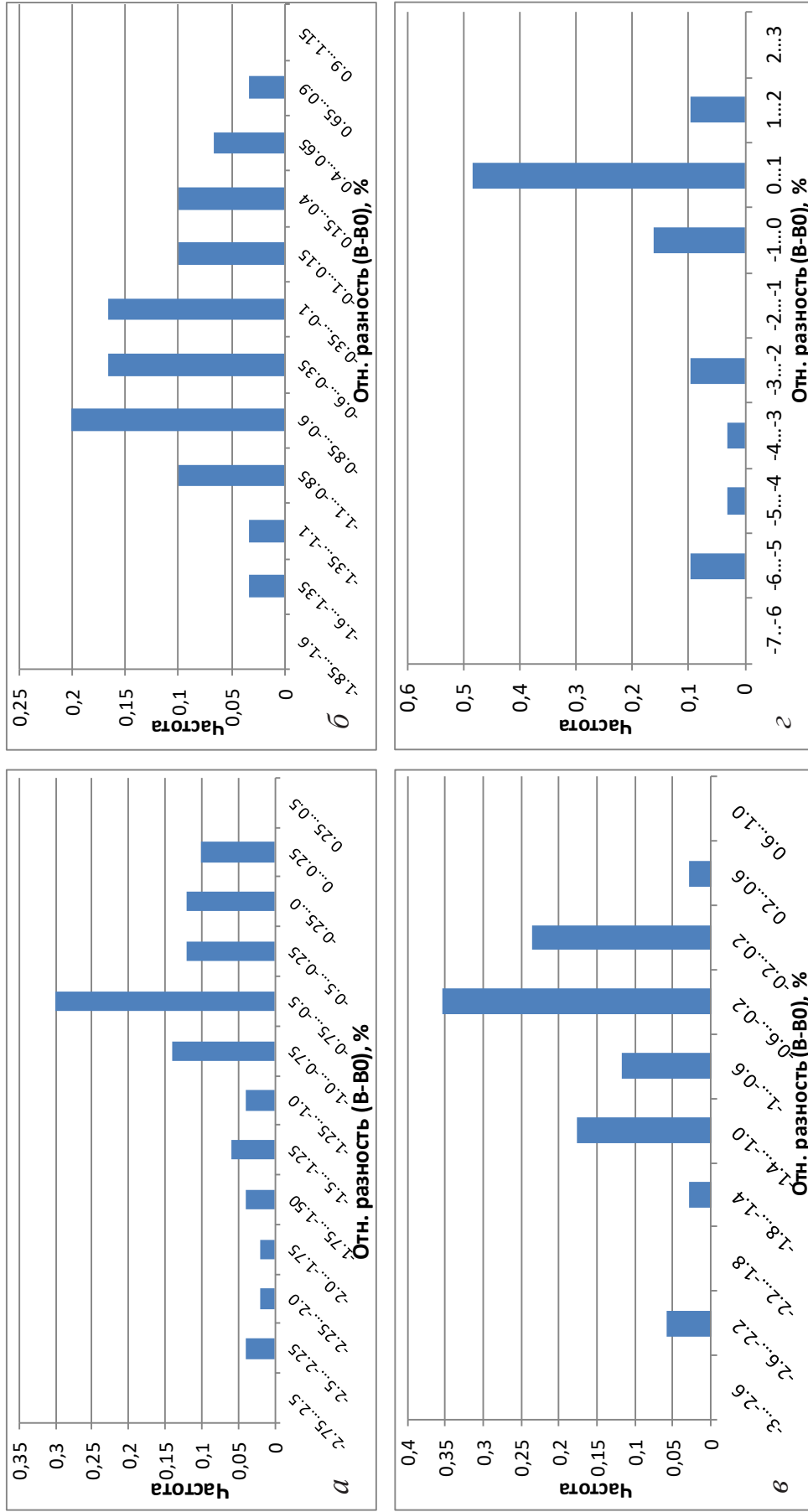


Рис. 7. Статистические характеристики распределений помесячных значений  $\Delta B$  за четыре месяца:

*a* — июль 2021 г.; *б* — август 2021 г.; *в* — сентябрь 2021 г.; *г* — октябрь 2021 г.

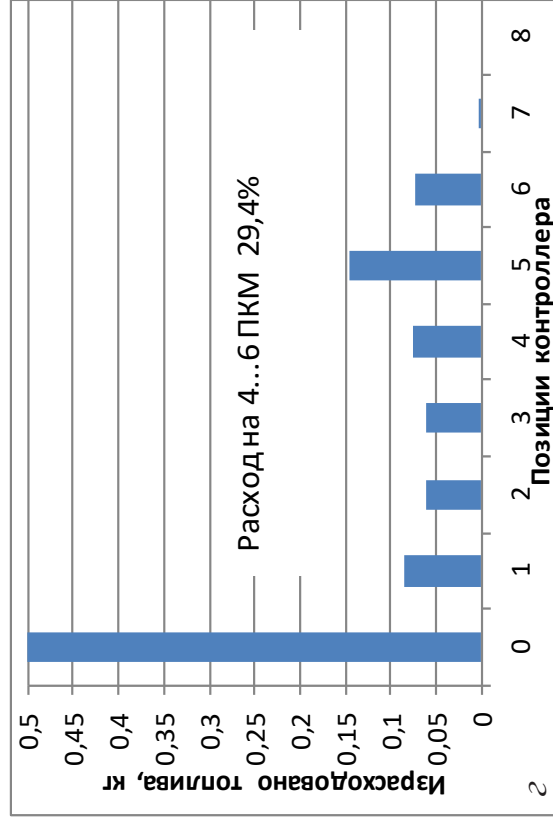
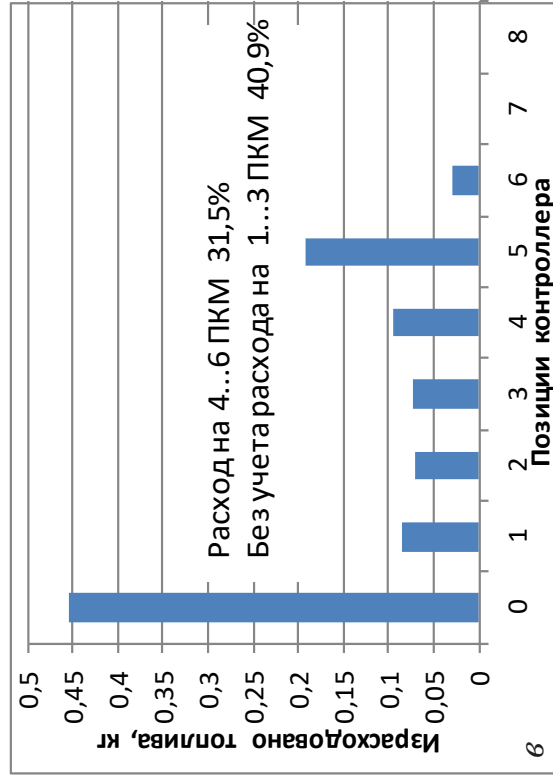
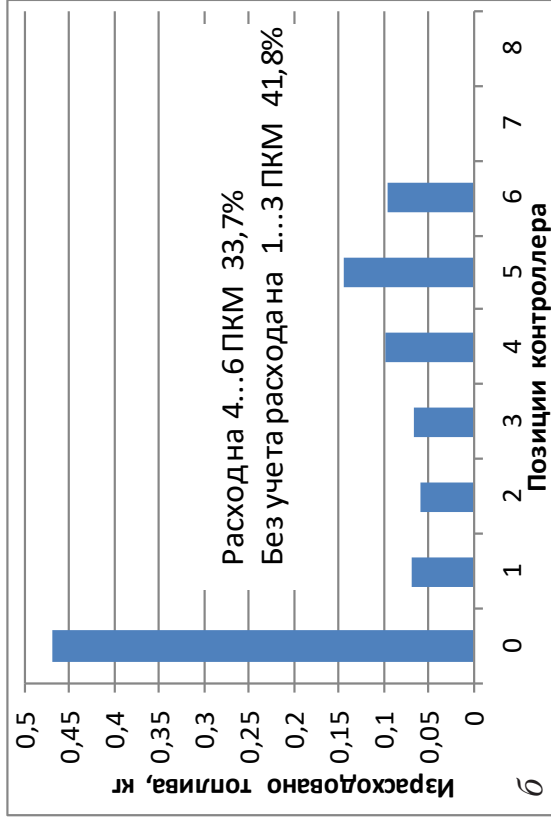
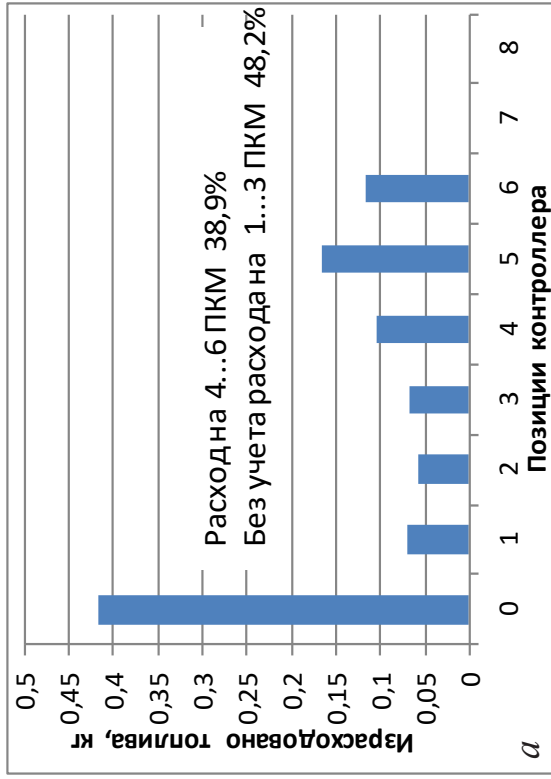


Рис. 8. Распределение количества израсходованного топлива по позициям контроллера за четыре месяца:

а — июль 2021 г.; б — август 2021 г.; в — сентябрь 2021 г.; г — октябрь 2021 г.



Косвенным подтверждением этого вывода является отсутствие корреляции между относительной разностью расходов  $\overline{\Delta B}$  (1) и количеством переключений позиций контроллера за смену — средняя за четыре месяца величина коэффициента корреляции между этими показателями не превысила 0,452 (учитывались переключения только на тех позициях, на которых учитывался расход топлива, т. е. с четвертой по шестую).

## Обсуждение результатов

На первый взгляд, полученные результаты прямо противоречат выводам, сделанным ранее во многих работах, в том числе основанных на результатах экспериментальных исследований переходных процессов в силовых установках тепловозов [4, 5]. Однако тщательный анализ особенностей переходных процессов в дизель-генераторной установке ПДГ1М с системой электронного управления впрыском топлива показывает, что это верно лишь отчасти.

Переходной процесс, вызванный изменением (увеличением) позиции контроллера в ДГУ с гидромеханическим регулятором, сопровождается значительным перерегулированием как по подаче топлива (по оценке [5], в среднем до 43 %), так и по частоте вращения (рис. 9).

В то же время, как следует из рис. 4 и 6, высокое быстродействие системы ЭСУВТ и реализуемые ею современные алгоритмы управления переходными процессами дизеля позволяют полностью исключить перерегулирование по частоте вращения. Результатом совместной работы систем ЭСУВТ в части управления

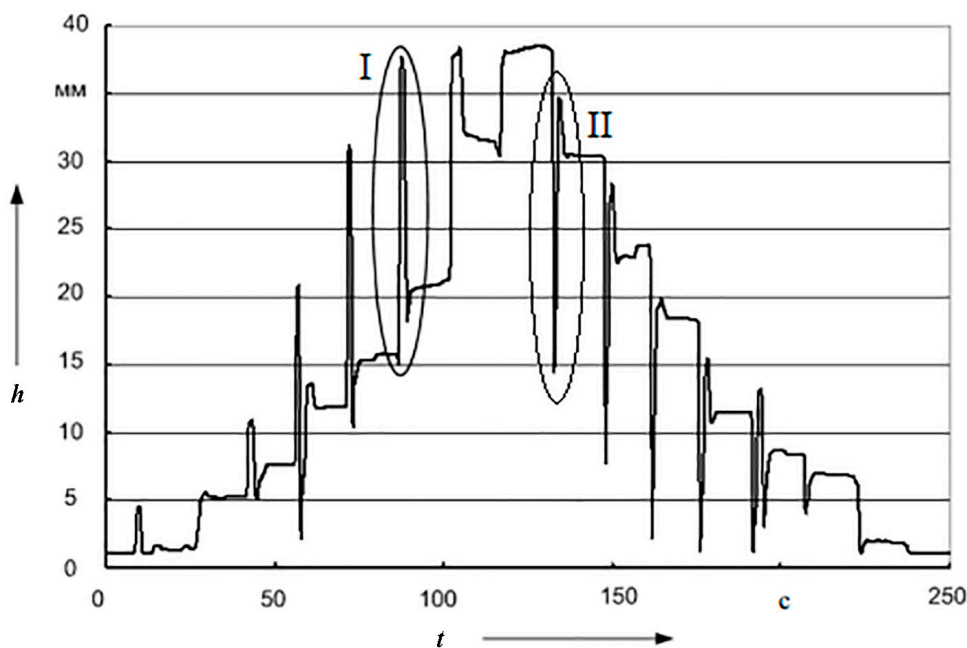


Рис. 9. Изменение подачи топлива регулятором Д50М дизеля ПД1М при переключении позиций контроллера

дизелем и УСТА в части управления электрической передачей тепловоза является ограничение перерегулирования по топливоподаче до 6–7 % на позициях выше четвертой и полное его исключение на низких позициях.

При оценке величины расхода топлива в переходных процессах многие авторы относят к дополнительному расходу все топливо, соответствующее перерегулированию по топливоподаче (область 1 на рис. 9). Однако основная часть этого топлива тратится на увеличение кинетической энергии вращающихся масс дизеля. Эта энергия возвращается электрической передаче при уменьшении позиции контроллера (область 2 на рис. 9), однако отрицательное перерегулирование топливоподачи в расчетах, как правило, не учитывается, что приводит к завышенным оценкам величины перерасхода.

На самом деле перерасход топлива в переходных процессах дизеля обусловлен только ухудшением качества сгорания повышенной цикловой подачи вследствие временного уменьшения коэффициента избытка воздуха в цилиндре при ее перерегулировании. Как известно, существенное ухудшение качества сгорания топлива в цилиндрах дизеля наблюдается при уменьшении коэффициента избытка воздуха до 1,4–1,5 и менее [10]. Если при перерегулировании топливоподачи величина коэффициента избытка воздуха не снижается до этого значения, существенного увеличения расхода топлива в переходном процессе не будет.

Дизели мощностного ряда Д50 (ПД1М, 1-ПД4Д) относятся к среднеоборотным двигателям с большим суммарным рабочим объемом цилиндров и низким уровнем форсирования, характерной особенностью которых являются повышенные значения коэффициента избытка воздуха на низких и средних позициях контроллера, преимущественно используемых при выполнении маневровой работы. При наличии избыточного воздуха небольшое (до 10 %) перерегулирование цикловой подачи в переходном процессе, управляемом системами ЭСУВТ и УСТА, не приводит к существенному изменению качества сгорания топлива и его перерасходу, что и подтверждается полученными результатами.

## Выводы

1. Применение современных систем управления топливоподачей дизеля и электрической передачей маневрового тепловоза, наряду с уменьшением расхода топлива в режимах тепловозной характеристики, обеспечивает улучшение экологических показателей тепловоза и его эксплуатационной эффективности за счет повышения качества переходных процессов в силовой установке.

2. Сложившееся устойчивое представление о существенном влиянии переходных процессов в силовой установке маневрового тепловоза на эксплуатационный расход топлива и необходимости его учета в процессе нормирования не

всегда соответствует действительности при использовании современных микропроцессорных систем управления оборудованием тепловоза.

3. Переходные процессы в силовой установке тепловозов ТЭМ18(ДМ), оборудованных современными системами управления дизелем и электрической передачей, не влияют на эксплуатационный расход топлива и могут не учитываться при нормировании его расхода на маневровую работу.

4. Решение о необходимости и способе учета дополнительного расхода топлива в переходных процессах при нормировании его расхода на маневровую работу должно приниматься для каждой серии маневрового локомотива по результатам мониторинга параметров его силовой установки в эксплуатации.

## Библиографический список

1. Хомич А. З. Топливная эффективность и вспомогательные режимы тепловозных дизелей / А. З. Хомич. — М.: Транспорт, 1987. — 2 изд., перераб. и доп. — 271 с.

2. Володин А. И. Топливная экономичность силовых установок тепловозов / А. И. Володин, Г. А. Фофанов. — М.: Транспорт, 1979. — 126 с.

3. Балабин В. Н. Научные основы создания регулируемых приводов газораспределения локомотивных двигателей внутреннего сгорания нового поколения: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук / В. Н. Балабин. — М., 2010. — 50 с.

4. Хомич, А. З. Влияние переходных процессов на экономичность дизеля 10Д100 / А. З. Хомич, А. Н. Мальцев // Электрическая и тепловозная тяга. — М.: Транспорт, 1974. — № 11. — С. 37–38.

5. Овчаренко С. М. Влияние переходных процессов на расход топлива дизелем в эксплуатации / С. М. Овчаренко, П. С. Корнеев, В. А. Четвергов // Известия Транссиба. — 2012. — № 1(9). — С. 27–32.

6. Гундоров М. П. Реализация более рациональной характеристики нагружения тепловозного дизель-генератора / М. П. Гундоров // Сборник трудов ВНИТИ. — Коломна: ВНИТИ, 1978 г. — С. 59–68.

7. Кузнецова И. А. Оценка технико-энергетической эффективности работы маневровых тепловозов путем моделирования рабочих процессов оборудования в режимах эксплуатации: специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»: дис. ... канд. техн. наук / И. А. Кузнецова; АО ВНИИЖТ. — М., 2018. — 162 с.

8. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е. И. Пустыльник. — М.: Наука, 1968. — 396 с.

9. Грачев В. В. О достоверности прямых способов контроля энергоэффективности тепловозов в эксплуатации / В. В. Грачев, А. В. Грищенко, Ф. Ю. Базилевский // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. — 2018. — Вып. 2(42). — С. 40–48.

10. Коссов Е. Е. Совершенствование качества переходного процесса при смене режима работы дизель-генератора тепловоза / Е. Е. Коссов, В. В. Фурман // Вестник ВНИИЖТ. — М.: ВНИИЖТ, 2012. — Вып. 2. — С. 27–30.

Дата поступления: 15.01.2022

Решение о публикации: 14.02.2022

### **Контактная информация:**

ГРАЧЁВ Владимир Васильевич — д-р техн. наук, проф., доц.; v\_grach@mail.ru

ГРИЩЕНКО Александр Васильевич — д-р техн. наук, проф.; sanklok@mail.ru

БАЗИЛЕВСКИЙ Фёдор Юрьевич — канд. техн. наук, доц.; f\_basilevski@mail.ru

КУРИЛКИН Дмитрий Николаевич — канд. техн. наук, доц.; kurilkin\_d@mail.ru

## **Impact of Transition Processes in Propulsion of Shunting Diesel Locomotive on Fuel Consumption in Exploitation**

**V. V. Grachev, A. V. Grishchenko, F. Yu. Bazilevskiy, D. N. Kurilkin**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** 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. *Bulletin of scientific research results*, 2022, iss. 1, pp. 48–67. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2022-1-48-67

### **Summary**

**Purpose:** Experimental assessment of the effect of transient processes in a propulsion on the operational efficiency of a shunting diesel locomotive based on locomotive parameter monitoring during exploitation.

**Methods:** As initial data for the analysis, the results are used of continuous monitoring of the values of the parameters of propulsion of ТЕМ18 locomotive, equipped with an electronic control system for fuel supply ЭСУВТ.01-06-03, an automatic control system for electric transmission of УСТА locomotive and a remote data control system АСК, under heavy shunting. Evaluation of transient process influence was fulfilled by means of comparison of fuel real consumption on controller 4–6 positions with standard calculated consumption at the same working modes of locomotive propulsion at the absence of transient processes. **Results:** As a result of the statistical analysis of metric information, it is shown that, in contradiction to, existing in environment of locomotive industry specialist, stable notion on transient process essential influence in shunting locomotive propulsion on exploitation fuel consumption and on fuel accounting necessity during rationing, transient processes in diesel generator propulsion ПДГ1М of ТЭМ2(18) diesel locomotive, equipped with the modern tools of control for diesel and electric transmission, do not affect operational fuel consumption and may not be taken into account when rationing fuel for shunting. The decision on the necessity and way of accounting additional fuel consumption in transient processes when rationing the consumption for shunting operation should be made for each series of shunting locomotive based on the results of monitoring the parameters of locomotive propulsion in exploitation. **Practical importance:** Article results allow to raise the accuracy of traction calculations and reliability of rationing fuel consumption for shunting job.

**Keywords:** Diesel locomotive, fuel consumption, specific fuel consumption, transient operation modes, electronic injection control system, automatic control system for electric transmission of diesel locomotive, diesel engine, traction generator.

## References

1. Khomich A. Z. *Toplivnaya effektivnost' i vspomogatel'nye rezhimy teplovoznnykh dizeley* [Fuel efficiency and auxiliary modes of diesel locomotives]. Moscow: Transport Publ. 1987. 271 p.
2. Volodin A. I. *Toplivnaya ekonomichnost' silovykh ustanovok teplovozo* [Fuel efficiency of diesel locomotive power plants]. Moscow, "Transport" Publ. 1979. 126 p.
3. Balabin V.N. *Nauchnye osnovy sozdaniya reguliruemyykh privodov gazoraspredeleniya lokomotivnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya novogo pokoleniya. Dokt. Diss* [Scientific basis for the creation of adjustable gas distribution drives for locomotive internal combustion engines of a new generation. Dokt. Diss]. Moscow, 2010. 50 p.
4. Khomich A. Z., Mal'tsev A. N. Vliyanie perekhodnykh protsessov na ekonomichnost' dizeleya 10D100 [The influence of transient processes on the efficiency of a diesel engine 10D100]. *Elektricheskaya i teplovoznaya tyaga* [Electric and diesel traction]. Moscow: Transport, I. 11, 1974, pp. 37–38.
5. Ovcharenko S. M. Vliyanie perekhodnykh protsessov na raskhod topliva dizelem v ekspluatatsii [Influence of transient processes on diesel fuel consumption in operation]. *Izvestiya Transsiba* [Izvestiya Transsib]. I. 1(9), 2012, pp. 27–32.
6. Gundorov M. P. Realizatsiya bolee ratsional'noy kharakteristiki nagruzheniya teplovoznogo dizel'-generatora [Implementation of a more rational loading characteristic of a diesel diesel generator]. *Sbornik trudov VNITI* [Collection of works of VNITI]. Kolomna, VNITI Publ., 1978, pp. 59–68.
7. Kuznetsova I. A. *Otsenka tekhniko-energeticheskoy effektivnosti raboty manevrovyykh teplovoznov putem modelirovaniya rabochikh protsessov oborudovaniya v rezhimakh ekspluatatsii: spetsial'nost' 05.22.07 "Podvizhnoy sostav zheleznnykh dorog, tyaga poezdov i elektrifikatsiya". Kand. Diss* [Evaluation of the technical and energy efficiency of shunting diesel locomotives by modeling equipment workflows in operating modes: specialty 05.22.07 "Railway rolling stock, train traction and electrification". Cand. Diss]. Moscow, 2018. 162 p.
8. Pustyl'nik E. I. *Statisticheskie metody analiza i obrabotki nablyudeniy* [Statistical methods of analysis and processing of observations]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 396 p.
9. Grachev V. V. O dostovernosti pryamykh sposobov kontrolya energoeffektivnosti teplovoznov v ekspluatatsii [On the reliability of direct methods for monitoring the energy efficiency of diesel locomotives in operation]. *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopoliy: Tekhnika zheleznnykh dorog* [Bulletin of the Institute for Problems of Natural Monopolies: Railway Engineering]. 2018, I. 2(42), pp. 40–48.
10. Kossov E. E. Sovershenstvovanie kachestva perekhodnogo protsessa pri smene rezhima raboty dizel'-generatora teplovoza [Improving the quality of the transient process when changing the mode of operation of a diesel generator of a diesel locomotive]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik VNIIZhT -M]. Moscow, VNIIZhT Publ., 2012, I. 2, pp. 27–30.

Received: January 15, 2022

Accepted: February 14, 2022

**Author's information:**

Vladimir V. GRACHEV — D. Sci. in Engineering, Associate Professor; v\_grach@mail.ru

Alexandr V. GRISHCHENKO — D. Sci. in Engineering, Professor; sanklok@mail.ru

Fedor Yu. BAZILEVSKY — PhD Sci. in Engineering, Associate Professor; f\_basilevski@mail.ru

Dmitry N. KURILKIN — PhD Sci. in Engineering, Associate Professor; kurilkin\_d@mail.ru