

Транспортное и энергетическое машиностроение

УДК 621.436

Эксплуатационные испытания тепловоза с электронной системой управления топливоподачей

В.Н. Игин, В.А. Марков, В.В. Фурман

Одним из основных показателей работы дизельных двигателей тепловозов является топливная экономичность, характеризуемая расходом топлива или эффективным КПД двигателя. Сложность проблемы снижения эксплуатационного расхода топлива обусловлена многорежимностью двигателей маневровых тепловозов. Эта проблема может быть решена путем установки на двигатель электронной системы управления впрыскиванием топлива (ЭСУВТ). В статье описана опытная ЭСУВТ для тепловозного дизеля типа Д50 (6 ЧН 31,8/33). Впервые приведены результаты широкомасштабных эксплуатационных испытаний тепловозов ЧМЭЗ со штатной системой управления подачей топлива и с опытной ЭСУВТ. Показано, что установка ЭСУВТ на тепловозе ЧМЭЗ обеспечивает снижение эксплуатационного расхода топлива на 8...11 %.

Ключевые слова: тепловоз, дизель, электронная система управления впрыскиванием топлива, эксплуатационный расход топлива, эффективный КПД.

Performance tests of a diesel locomotive with electronic throttle control

V.N. Igin, V.A. Markov, V.V. Furman

One of the main characteristics of diesel engines is diesel fuel economy defined by the fuel consumption or engine efficiency. The problem of reducing the fuel consumption is complicated by the multi-mode operation of engines of shunting locomotives. This problem can be solved by implementing electronic fuel injection systems in diesel engines. The article describes an experimental electronic throttle control system designed for a D50-type diesel locomotive (6 ChN 31,8/33). The results of large-scale performance tests of ChMEZ diesel locomotives with a standard fuel control system and experimental electronic fuel injection system are presented for the first time. It is shown that implementing the electronic fuel injection system reduces operational fuel consumption by 8...11%.



ИГИН
Валерий Николаевич
(ОАО «РЖД»)
IGIN
Valeriy Nikolaevich
(Moscow, Russian Federation,
JSC «Russian Railways»)



МАРКОВ
Владимир Анатольевич
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
MARKOV
Vladimir Anatol'evich
(Moscow, Russian Federation,
Bauman Moscow State
Technical University)



ФУРМАН
Виктор Владимирович
(ООО «ППП
«Дизельавтоматика»)
FURMAN
Viktor Vladimirovich
(Saratov, Russian Federation,
«Dizel'avtomatika»)

Keywords: diesel locomotive, diesel, electronic fuel injection system, operational fuel consumption, effective efficiency.

Характерной особенностью эксплуатации маневровых тепловозов является длительная работа их дизельных двигателей на режимах с малыми нагрузками и режиме холостого хода, продолжительность которого достигает 50% и более всего времени работы (рис. 1, а) [1]. В соответствии с данными публикации [2] относительная продолжительность эксплуатации маневрового тепловоза (по отношению к общей продолжительности работы) составляет: на холостом ходу (ХХ) — 55...62%, а на номинальном режиме — 0,6...1,8% (рис. 1, б). Такой характер распределения эксплуатационных режимов дизельных двигателей маневровых тепловозов отмечен и в ряде других работ [3–5]. Это определяется условиями поездной и маневровой работы, а также временными (сезонными) факторами. Расход топлива на режимах холостого хода дизеля составляет 30...50 % общего расхода топлива в эксплуатации [1]. Если учесть, что 40...50 % всех эксплуатационных затрат в ОАО «РЖД» составляют затраты локомотивного хозяйства на топливо и масло, то вопросы экономии дизельного топлива являются важным резервом повышения энергоэффективности работы тепловозной тяги.

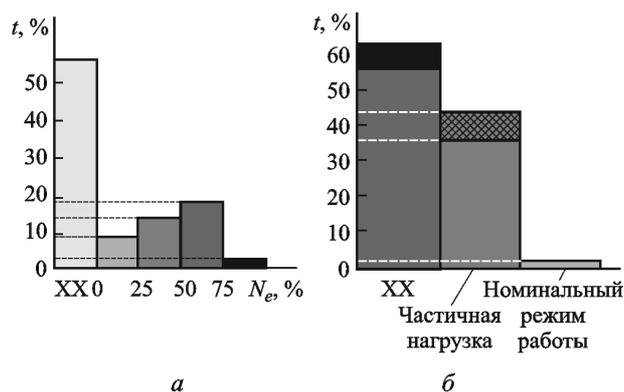


Рис. 1. Распределение времени работы t дизеля маневрового тепловоза по интервалам мощности N_e (а) и по режимам холостого хода, частичных нагрузок и номинальном режиме (б)

Эффективное средство повышения экономичности работы тепловозных дизелей на режиме холостого хода — снижение частоты вращения коленчатого вала. Однако реализация

этого метода сдерживается нестабильностью топливоподачи на этом режиме. Конструктивные изменения, улучшающие характеристики топливоподачи на режиме холостого хода, как правило, обуславливают ухудшение характеристик, обеспечивающих работу дизеля на полной и частичной мощности дизеля.

На отечественных тепловозных дизелях обычно устанавливаются гидромеханические системы подачи топлива в цилиндры дизеля с использованием кулачков распределительного вала, профиль которых и их положение на валу жестко зафиксированы. Такая гидромеханическая система топливоподачи не позволяет реализовать управление углом опережения впрыскивания топлива (УОВТ). Изменение топливоподачи в процессе работы двигателя требует сложных и практически трудно реализуемых конструктивных решений.

Реализовать гибкое управление топливоподачей в зависимости от частоты вращения коленчатого вала с оптимальным выбором УОВТ во всем рабочем диапазоне нагрузок транспортного дизеля позволяет топливная аппаратура с электронной системой управления впрыскиванием топлива (ЭСУВТ). Такими электронными системами оснащаются и топливная аппаратура аккумуляторного типа — система Common-Rail фирмы R. Bosch, и аппаратура разделенного типа, в которой топливный насос высокого давления (ТНВД) подает топливо к форсункам через нагнетательные топливопроводы [6–8]. К дизельной топливной аппаратуре разделенного типа относится система типа ЭСУВТ.01 (разработанная ООО «ППП «Дизельавтоматика», г. Саратов), устанавливаемая на дизелях типа Д50 производства ОАО «Пензадизельмаш» (Пензенский дизельный завод) [9].

Конструктивные особенности системы ЭСУВТ тепловоза ЧМЭЗ. Конструктивная схема этой системы управления топливоподачей представлена на рис. 2. Она включает насосную секцию ТНВД с плунжером, приводимым от кулачка кулачкового вала (на рис. 2 не показаны). При движении плунжера вверх топливо вытесняется в надплунжерную полость δ , в которой установлен клапан 2. При нахождении клапана δ в крайнем левом положении над-

плунжерная полость 8 сообщена с линией 1 низкого давления ТНВД. Электронно-управляемый клапан 2 соединен с якорем 6 электромагнита 7. В требуемый момент времени на электромагнит 7 подается управляющий сигнал от электронного блока управления ЭСУВТ и якорь 6 притягивается к электромагниту. При этом клапан 2 смещается вправо и своей кромкой 3 разобщает надплунжерную полость 8 с линией 1 низкого давления ТНВД. Далее топливо под высоким давлением вытесняется в штуцер 4 топливного насоса.

Использование клапана 2 (см. рис. 2) для регулирования фаз начала и окончания подачи топлива позволяет гибко управлять топливоподачей. В частности, при этом появляется возможность реализации сложных законов управления УОВТ в соответствии с изменениями скоростного и нагрузочного режимов работы. Предложенная схема ТНВД использована при создании опытной ЭСУВТ для дизелей типа Д50 (6 ЧН 31,8/33) производства ОАО «Пензадизельмаш» (Пензенский дизельный завод) — среднеоборотный дизель мощностью $N_e = 730 \dots 880$ кВт (1 000...1 200 л.с.) для дизель-ге-

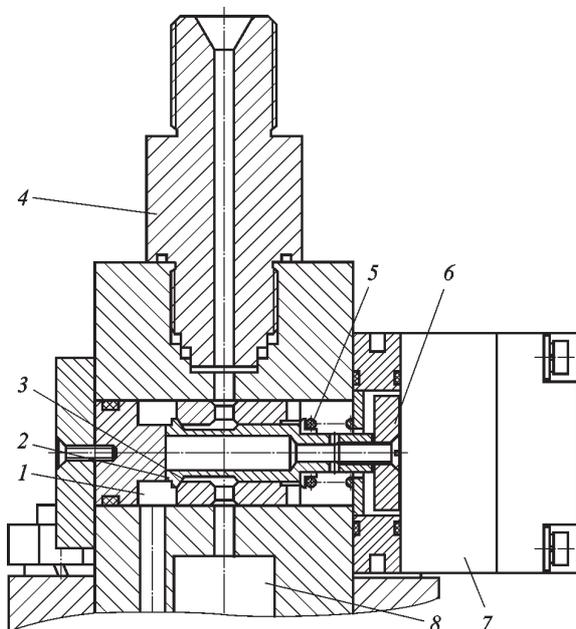


Рис. 2. Конструктивная схема ТНВД с электромагнитным клапаном управления подачей топлива:

- 1 — линия низкого давления ТНВД; 2 — клапан;
- 3 — кромка клапана; 4 — штуцер ТНВД;
- 5 — возвратная пружина; 6 — якорь;
- 7 — электромагнит; 8 — надплунжерная полость

нераторных установок, железнодорожного и водного транспорта. Этот двигатель широко используется, в частности, в дизель-генераторах маневровых, магистральных и промышленных тепловозов.

Положительные результаты применения этой ЭСУВТ на дизелях тепловозов ТЭМ2 и ТЭМ18ДМ, полученные в 2011—2012 гг., явились основанием для установки и проверки аналогичной системы на дизеле тепловоза ЧМЭЗ. Специалистами ООО «ППП «Дизельавтоматика» и ОАО «ВНИИЖТ» в 2012 г. проведено оборудование тепловоза ЧМЭЗ № 4747 системой ЭСУВТ, а в 2012—2013 гг. — подконтрольная эксплуатация этого тепловоза.

Состав системы ЭСУВТ, реализованный на дизеле тепловоза ЧМЭЗ № 4747, приведен на рис. 3.

Основными элементами системы ЭСУВТ являются: ТНВД с плунжерными парами, работающими постоянно в режиме максимальной подачи; электромагнитные клапаны, установленные на ТНВД; форсунки дизеля в штатной комплектации; блок управления (БУ); блок питания (БП); выходные усилители; набор датчиков частоты вращения и фазовой метки коленчатого вала, температуры воды, масла и давления масла; программатор (ПР). Основные конструктивные особенности системы топливоподачи дизеля К6S310DR с ЭСУВТ в штатной комплектации представлены в табл. 1.

Система ЭСУВТ, реализованная на тепловозе ЧМЭЗ № 4747, выполняет следующие функции: автоматическое поддержание заданной частоты вращения коленчатого вала дизеля; автоматическое управление УОВТ в зависимости от текущей частоты вращения вала дизеля; автоматическое регулирование мощности электрической передачи тепловоза; автоматическое ограничение тока и напряжения тягового генератора; управление ослаблением поля тяговых двигателей; регулирование бортового напряжения; ограничение тока заряда аккумуляторной батареи; программный запуск двигателя; реализация режима пониженной частоты вращения коленчатого вала дизеля на холостом ходу с отключением части цилиндров в соответствии с порядком работы дизеля; автоматический переход с пониженной частоты вращения колен-

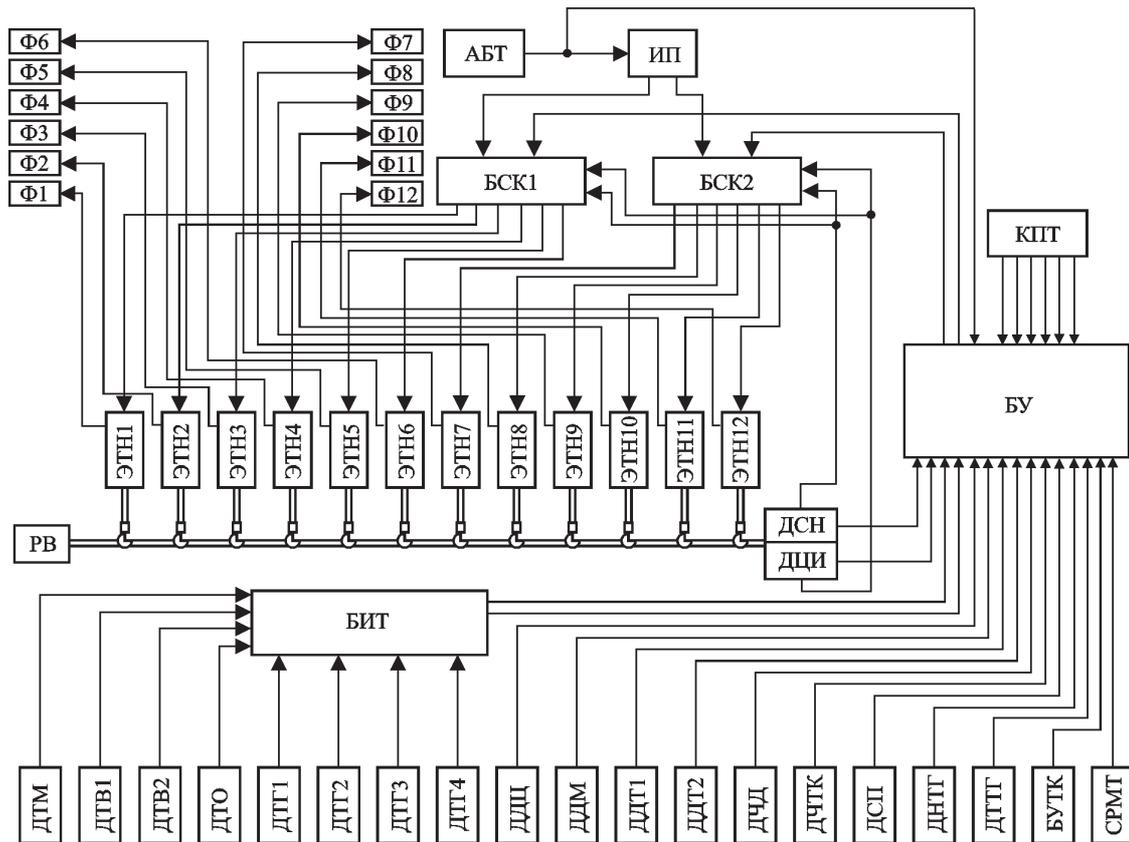


Рис. 3. Структурная схема системы ЭСУВТ.

ДДМ — датчик давления масла; ДДЦ — датчик давления в цилиндре; ДДТ1, ДДТ2 — датчики давления на входе и выходе из турбокомпрессора; ДНТГ — датчик напряжения тягового генератора; ДСН — датчик синхронизации; ДСП — датчик скорости поезда; ДТВ1—ДТВ2 — датчики температуры охлаждающей жидкости; ДТГ1—ДТГ4 — датчики температуры отработавших газов; ДТМ — датчик температуры масла; ДТО — датчик температуры окружающей среды; ДТТГ — датчик тока тягового генератора; ДЧД — датчик частоты вращения дизеля; ДЧТК — датчик частоты вращения турбокомпрессора; ДЦИ — датчик цилиндрических импульсов; АБТ — аккумуляторная батарея тепловоза; БИТ — блок измерения температуры; БУТК — блок управления турбокомпрессором; БСК1, БСК2 — блоки силовых ключей; БУ — блок управления; ИП — источник питания; КПТ — контроллер позиций тепловоза; РВ — распределительный вал; СРМТ — система регулирования мощности тепловоза; Ф1—Ф12 — форсунки; ЭТН1—ЭТН12 — электроуправляемые топливные насосы

чатого вала дизеля на частоту, соответствующую нулевой позиции контроллера машиниста, при включении тормозного компрессора для быстрого наполнения тормозной магистрали воздухом; ограничение величины топливоподачи по заданному закону в зависимости от частоты вращения коленчатого вала дизеля; отключение подачи топлива при достижении максимальной частоты вращения коленчатого вала; отключение подачи топлива при снижении давления масла ниже заданной величины; аварийный запуск дизеля без ограничения подачи топлива при пуске; индикация основных параметров работы дизеля и системы по дис-

плею на корпусе блока управления; автоматическое снижение мощности дизель-генератора при буксовании колесных пар тепловоза; самодиагностика элементов системы с возможностью непосредственного визуального контроля сообщений системы машинистом по дисплею на корпусе блока управления.

Система ЭСУВТ обеспечивает работу дизеля путем подачи на электроуправляемые клапаны ТНВД сигналов, пропорционально которым изменяется подача топлива. По сигналу от преобразователя частоты вращения БУ оценивает текущую частоту вращения коленчатого вала дизеля и по заложенной программе осуществ-

ляет корректирование управляющего сигнала в сторону его уменьшения или увеличения в зависимости от рассогласования текущей и заданной частот вращения.

Таблица 1

Основные конструктивные особенности исследуемой системы топливоподачи

Наименование	Система топливоподачи	
	ЭСУВТ	Штатная
Тип ТНВД	Индивидуальный, прямого действия, плунжерный	
Привод ТНВД	С жестким (кулачковым) приводом плунжера	
Конструктивное исполнение плунжера ТНВД	Гладкая цилиндрическая форма по всей длине без золотниковой части	Гладкая цилиндрическая форма со спиральной кромкой
Конструктивное исполнение форсунки	Закрытого типа с гидравлическим управлением иглы	
Регулирование подачи топлива	Продолжительностью подачи управляющего сигнала на электромагнитный клапан	Перемещением рейки ТНВД, которая поворачивает плунжер с косой кромкой относительно отсечного отверстия по концу подачи
Управление опережением впрыскивания	Моментом подачи управляющих сигналов на электромагнитный клапан ТНВД	Поворотом спиральной кромки плунжера относительно отсечного отверстия гильзы

По сигналам от преобразователя фазовой отметки БУ определяет положение в верхней мертвой точке поршня первого цилиндра на такте сжатия и соответственно этому изменяет момент подачи управляющего импульса, что приводит к изменению УОВТ по заданной программе. Изменение УОВТ осуществляется в функции от частоты вращения коленчатого вала, а также корректируется по температуре охлаждающей жидкости.

В целях снижения расхода топлива на режиме холостого хода система обеспечивает режим пониженной частоты вращения с $n = 280 \text{ мин}^{-1}$ (вместо $n = 350 \text{ мин}^{-1}$). На данном режиме происходит отключение половины цилиндров через один в соответствии с порядком работы. Через определенное время для исключения неравномерного износа

цилиндров работающая и отключенная группы цилиндров меняются местами.

На дизеле установлены термопреобразователи сопротивления для измерения температуры воды и масла, а также преобразователь давления масла. На тормозном компрессоре установлен преобразователь давления воздуха для определения момента его включения. Сигналы преобразователей используются для выполнения алгоритмов работы.

При включении тормозного компрессора система автоматически отключает режим пониженных оборотов холостого хода. Момент включения и выключения компрессора система опознает по сигналу преобразователя давления, установленного в трубке подвода воздуха от регулятора давления к компрессору. Частота вращения коленчатого вала дизеля при этом увеличивается до значения $n = 350 \text{ мин}^{-1}$ на время работы компрессора, что необходимо для более быстрого заполнения тормозной магистрали сжатым воздухом. Переход дизеля на режим пониженной частоты вращения разрешен при температуре масла не менее $+ 50 \text{ }^\circ\text{C}$.

При переводе рукоятки контроллера машиниста на различные позиции в БУ на дискретные входы ДВХ1–ДВХ3 поступают сигналы напряжением 115 В постоянного тока, которые обрабатываются в зависимости от их комбинации, в результате чего в БУ вырабатывается задание по частоте вращения в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Алгоритм работы блока управления системы ЭСУВТ

Позиция контроллера	Задание частоты вращения вала дизеля, мин^{-1}	Порядок включения дискретных сигналов		
		ДВХ1	ДВХ2	ДВХ3
0	280 или 350	–	–	–
1	350	–	–	–
2	380	+	–	–
3	420	–	+	–
4	460	+	+	–
5	510	–	–	+
6	560	+	–	+
7	660	–	+	+
8	750	+	+	+

Примечание. «+» — напряжение подано; «–» — напряжение снято.

Блок управления сравнивает текущее значение частоты вращения с уставкой. В случае несогласования БУ производит соответствующее изменение длительности топливоподачи до тех пор, пока фактическая частота вращения коленчатого вала дизеля не сравнится с уставкой. Для управления тягой тепловоза БУ формирует ток возбуждения возбудителя тягового генератора в автоматическом режиме по заложенной программе. Величины действующих значений тока и напряжения тягового генератора непрерывно оцениваются системой и сравниваются с текущей уставкой после чего БУ уменьшает или увеличивает ток возбуждения.

Для поддержания заданного бортового напряжения БУ формирует ток возбуждения вспомогательного генератора, регулируя этим величину бортового напряжения, а также ограничивая максимальный ток зарядки АБ. При превышении предельной частоты вращения коленчатого вала дизеля, зафиксированной БУ по сигналу с преобразователя частоты вращения (ПЧВ), БУ прекращает подачу управляющих импульсов на электроуправляемые ТНВД, чем обеспечивается отключение подачи топлива в цилиндры дизеля. На дисплей БУ выводятся основные параметры работы дизеля (частота вращения коленчатого вала, расход топлива, температуры воды, масла и давление масла и др.), сообщения самодиагностики системы, а также другие сервисные сообщения и параметры.

Различиями систем ЭСУВТ, реализованных на дизелях тепловозов ТЭМ2, ТЭМ18ДМ и ЧМЭЗ, являются введение следующих дополнительных функций на тепловозе ЧМЭЗ: автоматический перевод частоты вращения коленчатого вала n с 280 до 350 мин⁻¹ при включении тормозного компрессора; отключение подачи топлива при снижении давления масла ниже заданного; автоматическое регулирование мощности электрической передачи тепловоза и управление ослаблением поля тяговых электродвигателей; программный запуск дизеля путем реализации порядка включения и выключения контакторов в цепи пуска по заданному алгоритму; регулирование бортового напряжения; ограничение тока заряда аккумуляторной батареи и защита от буксования.

Методика эксплуатационных испытаний. Испытания тепловоза ЧМЭЗ № 4747, оборудованного системой ЭСУВТ, выполнялись по Программе и методике эксплуатационных испытаний, разработанной ОАО «ВНИИЖТ» и согласованной с ООО «ППП «Дизельавтоматика». Эксплуатационные испытания проводились в интервале пробега локомотива от момента оборудования тепловоза ЧМЭЗ системой ЭСУВТ до текущего ремонта ТР-1. Основные показатели работы опытного тепловоза ЧМЭЗ № 4747 с ЭСУВТ и тепловозов контрольной группы ЧМЭЗ № 2736, 4762, 5254, 5775, 3074 и 5562 в штатной комплектации дизеля оценивались по следующим показателям: пробег опытного тепловоза от начала испытаний, сутки; расход топлива при минимально устойчивой частоте вращения коленчатого вала на режиме холостого хода опытного тепловоза с ЭСУВТ при проведении реостатных испытаний, кг/ч; расход топлива при эксплуатации тепловозов опытного и контрольной группы по данным аппаратно-программного комплекса «Борт» (далее — АПК «Борт»), кг/ч; изменение физико-химических показателей дизельного масла при эксплуатации по результатам анализа проб на всех видах технического обслуживания (ТО) и технического ремонта (ТР); расход дизельного масла при эксплуатации, в том числе по браковке и на плановую смену, кг/ч; изменение химических показателей охлаждающей воды по результатам лабораторного контроля; стабильность характеристик дизеля с ЭСУВТ при проведении реостатных испытаний; надежность работы системы ЭСУВТ в эксплуатации.

Сбор информации о техническом состоянии дизеля с опытной системой ЭСУВТ, а также эксплуатационной работе, выполняемой локомотивами опытной и контрольной группы, удельном расходе топлива, физико-химических показателях дизельного масла и охлаждающей воды, порчах и неплановых ремонтах тепловозов осуществлялись специалистами ОАО «ВНИИЖТ».

Для оценки влияния системы ЭСУВТ на параметры дизельного масла обрабатывались данные анализов проб масла, выполненных в химико-технической лаборатории депо на

Таблица 3

Возрастные характеристики тепловозов опытного и контрольной группы

Тепловоз ЧМЭЗ		Дизель К6S310DR		Дата проведения		
Но-мер	Год вы-пуска	Номер	Год вы-пуска	КР	СР	ТР-3
4747	1985	1278	1996	09.04.12		
2736	1978	2184	1986	24.03.06	30.06.12	
3074	1979	29546	1967	25.02.05	14.03.12	
4762	1985	352	1982	25.05.12		
5254	1986	3328	1980	19.09.11		
5562	1986	1490	1987	15.08.08		30.09.11
5775	1987	1186	1981	24.08.04	11.05.12	

Примечание. КР — капитальный ремонт; СР — средний ремонт; ТР — текущий ремонт.

Условия и особенности эксплуатации тепловоза. Условия работы опытного и контрольной группы тепловозов ЧМЭЗ в период подконтрольной эксплуатации приведены в табл. 4. Как следует из данных, представленных в табл. 4, условия эксплуатации опытного и группы контрольных тепловозов ЧМЭЗ по виду и участкам маневровой работы имели существенные отличия. В дальнейшем для сравнения с опытным тепловозом были выбраны тепловозы ЧМЭЗ № 5562 и 5775, работавшие в идентичных условиях эксплуатации с тепловозом ЧМЭЗ № 4747 по станции Саратов-1 и оборудованные из всей группы контрольных тепловозов АПК «Борт».

Таблица 4

Условия работы тепловозов опытного и контрольной группы

Номер тепловоза ЧМЭЗ	Основной вид работы	Участок работы
4747	Маневровая	ст. Саратов-1
2736		ст. Князевка
3074	Вывозная	ст. Трофимовский
4762	Хозяйственное движение	ст. Багаевка
5254		ст. Карамыш
5562	Маневровая	ст. Саратов-1
5775		ст. Саратов-1

Примечание. Указаны станции Приволжского участка железной дороги г. Саратова.

всех видах ТО и ТР за весь период эксплуатации тепловозов от момента установки системы ЭСУВТ. Для оценки влияния указанной системы на расход дизельного масла использовались данные о наборе моторного масла из лицевых счетов опытного и контрольной группы тепловозов. Эксплуатационная пригодность моторных масел оценивалась путем сопоставления полученных анализов масел с браковочными показателями, приведенными в Инструкции ОАО «РЖД» по применению смазочных материалов на локомотивах и моторвагонном подвижном составе 01ДК.421457.001 И. В качестве критериев сравнения выбиралось количество браковок, при достижении которых производилась замена масла.

Оценка топливной экономичности проводилась за весь период подконтрольной эксплуатации опытного тепловоза с системой ЭСУВТ и тепловозов контрольной группы также путем обработки данных эксплуатационных отчетов АПК «Борт» за разные периоды эксплуатации указанных локомотивов. В период подконтрольной эксплуатации при проведении ТО-3 и ТР-1 проводились контрольные реостатные испытания с измерением расхода топлива на режиме холостого хода при разных значениях минимально устойчивой частоты вращения коленчатого вала дизеля с использованием электронного расходомерного устройства. Надежность отдельных деталей и узлов опытной системы ЭСУВТ в период подконтрольной эксплуатации оценивалась количеством порч и неплановых ремонтов дизеля тепловоза ЧМЭЗ № 4747.

Результаты эксплуатационных испытаний. Подконтрольная эксплуатация тепловозов ЧМЭЗ опытного № 4747 и контрольной группы № 2736, 4762, 5254, 5775, 3074 и 5562 проведены в соответствии с Программой и методикой испытаний. Возрастные характеристики тепловозов опытного и контрольной группы, их дизелей и даты проведения крупных видов ремонта на момент начала проведения испытаний приведены в табл. 3. Исследуемые тепловозы и их дизели не имели конструктивных отличий по группам оборудования.

В качестве сравниваемого периода для выбранных тепловозов был принят интервал времени с 01.10.2012 по 01.09.2013 гг., не смотря на то, что установка системы ЭСУВТ на тепловозе ЧМЭЗ № 4747 была проведена 19.07.2012 г. В период с 01.08.2012 по 17.09.2012 гг. тепловоз готовился к демонстрации на международной выставке «ЭКСПО 1520» на Экспериментальном кольце ВНИИЖТ (г. Щербинка) или находился в перемещении между Москвой и Саратовом. В постоянную эксплуатацию в ТЧЭ Саратов опытный тепловоз ЧМЭЗ № 4747 введен 25.09.2012 г.

Эксплуатация тепловозов ЧМЭЗ осуществлялась с использованием горюче-смазочных материалов (ГСМ) и охлаждающей жидкости, регламентированных в Руководстве по эксплуатации тепловозов ЧМЭЗ: дизельное топливо по ГОСТ 305—82; моторное масло марки М14В₂ по ГОСТ 12337—84; охлаждающая вода, удовлетворяющая требованиям Инструкции ЦТЧС-50.

Количество плановых ТО, ТР, а также непланового ремонта (НР), проведенных по каждому тепловозу ЧМЭЗ, по данным АСУТ — ЦТ ОАО «РЖД», за период эксплуатации с 01.10.2012 по 31.08.2013 гг. приведено в табл. 5.

Таблица 5

Количество плановых ТО, ТР и НР испытываемых тепловозов

Виды ТО, ТР и НР	Номер тепловоза ЧМЭЗ опытного и контрольной группы						
	4747	2736	4762	5254	5775	3074	5562
ТО-2	53	51	62	59	56	63	55
ТО-3	6	5	6	7	6	6	6
ТР-1	1	1	1	1	1	1	—
ТР-2	—	—	—	—	—	—	1
НР	5	1	1	1	3	—	2
Рекламация	2	—	—	—	—	—	—

Результаты обработки данных лабораторных анализов моторного масла за период с 01.10.2012 по 01.09.2013 гг. представлены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты обработки данных лабораторных анализов моторного масла дизельных двигателей исследуемых тепловозов

Номер тепловоза ЧМЭЗ	Общее количество проб масла	Количество забракованных проб	Количество плановых смен	Объем замененного масла, кг
4747	24	—	—	—
5562	25	—	1	650
5775	25	1	—	650

Топливная экономичность и расход моторного масла. Топливная экономичность тепловоза ЧМЭЗ № 4747 с ЭСУВТ в эксплуатации оценивалась следующими способами:

- по результатам реостатных испытаний тепловоза с измерением расхода топлива дизеля на режиме холостого хода;
- по методике оценки эффективности работы маневровых тепловозов с ЭСУВТ, утвержденной Поручением ОАО «РЖД» от 13.09.2012 г. № П-ВГ-486;
- по данным лицевых счетов из системы централизованной обработки маршрутов машиниста (ЦОММ) опытного и контрольной группы локомотивов за весь период эксплуатации с 01.10.2012 по 01.09.2013 гг.;
- путем обработки посменных данных о работе и расходе топлива опытным и контрольной группой тепловозов, полученных из отчетных материалов АПК «Борт».

Результаты контрольных реостатных испытаний опытного тепловоза с измерением расхода топлива на режиме холостого хода при различных значениях минимальной частоты вращения коленчатого вала с включенным и выключенным тормозным компрессором приведены в табл. 7.

Таблица 7

Результаты контрольных реостатных испытаний опытного тепловоза с измерением расхода топлива на режиме холостого хода

Частота вращения вала дизеля, мин ⁻¹	Расход дизельного топлива, кг/ч			
	27.07.2012	26.10.2012	26.04.2013	18.07.2013
350	$\frac{9,67^*}{—}$	$\frac{10,0}{—}$	$\frac{10,5}{—}$	$\frac{10,96}{8,86}$
280	—	$\frac{8,15}{—}$	$\frac{7,45}{—}$	$\frac{8,53}{7,03}$

* С включенным (числитель) и выключенным (знаменатель) тормозным компрессором.

По данным реостатных испытаний снижение расхода топлива на режиме холостого хода при уменьшении частоты вращения коленчатого вала с 350 до 280 мин⁻¹ составило в среднем 2,24 кг/ч или 21,79%. Данные о расходе моторного масла и дизельного топлива опытным и контрольной группой тепловозов ЧМЭЗ за период эксплуатационных испытаний приведены в табл. 8.

Таблица 8

Расход моторного масла и дизельного топлива опытным и контрольной группой тепловозов ЧМЭЗ за период эксплуатационных испытаний

Кон- трольный период	Расход моторного масла (числитель) и дизельного топлива (знаменатель) тепловозами ЧМЭЗ, кг						
	4747	2736	4762	5254	5775	3074	5562
2012 год							
Октябрь	$\frac{135}{3147}$	$\frac{90}{7432}$	$\frac{—}{8631}$	$\frac{45}{5038}$	$\frac{135}{8926}$	$\frac{45}{8275}$	$\frac{135}{7771}$
Ноябрь	$\frac{—}{6976}$	$\frac{135}{6718}$	$\frac{90}{7312}$	$\frac{90}{5620}$	$\frac{90}{8045}$	$\frac{45}{8854}$	$\frac{180}{8429}$
Декабрь	$\frac{108}{7838}$	$\frac{—}{8197}$	$\frac{—}{9344}$	$\frac{—}{6103}$	$\frac{54}{8198}$	$\frac{45}{8499}$	$\frac{90}{9505}$
Итого	$\frac{243}{17961}$	$\frac{225}{22347}$	$\frac{90}{25287}$	$\frac{135}{16761}$	$\frac{279}{25169}$	$\frac{135}{25628}$	$\frac{405}{25705}$
2013 год							
Январь	$\frac{—}{5258}$	$\frac{171}{7320}$	$\frac{45}{8622}$	$\frac{45}{5179}$	$\frac{135}{9199}$	$\frac{—}{9559}$	$\frac{90}{8672}$
Февраль	$\frac{90}{5913}$	$\frac{—}{6712}$	$\frac{45}{9959}$	$\frac{45}{5382}$	$\frac{90}{7697}$	$\frac{—}{9425}$	$\frac{90}{6972}$
Март	$\frac{—}{6649}$	$\frac{135}{7385}$	$\frac{—}{9428}$	$\frac{—}{6143}$	$\frac{90}{8242}$	$\frac{45}{8102}$	$\frac{207}{9618}$
Апрель	$\frac{90}{4422}$	$\frac{—}{299}$	$\frac{45}{7477}$	$\frac{72}{5509}$	$\frac{—}{7854}$	$\frac{—}{7974}$	$\frac{45}{7634}$
Май	$\frac{—}{6371}$	$\frac{—}{2165}$	$\frac{—}{5223}$	$\frac{—}{4302}$	$\frac{—}{6695}$	$\frac{—}{2554}$	$\frac{—}{8531}$
Июнь	$\frac{—}{4750}$	$\frac{—}{3862}$	$\frac{—}{6045}$	$\frac{—}{4249}$	$\frac{—}{6830}$	$\frac{—}{1192}$	$\frac{—}{7943}$
Июль	$\frac{90}{8054}$	$\frac{—}{4349}$	$\frac{45}{8700}$	$\frac{—}{3596}$	$\frac{—}{7481}$	$\frac{—}{7157}$	$\frac{—}{4947}$
Август	$\frac{—}{6968}$	$\frac{—}{2082}$	$\frac{—}{6389}$	$\frac{—}{1182}$	$\frac{—}{4460}$	$\frac{—}{711}$	$\frac{—}{7548}$
Итого	$\frac{270}{48385}$	$\frac{306}{34174}$	$\frac{180}{61843}$	$\frac{162}{35542}$	$\frac{315}{56458}$	$\frac{45}{46674}$	$\frac{432}{61865}$

Кон- трольный период	Расход моторного масла (числитель) и дизельного топлива (знаменатель) тепловозами ЧМЭЗ, кг						
	4747	2736	4762	5254	5775	3074	5562
Всего	$\frac{513}{66346}$	$\frac{531}{56521}$	$\frac{270}{87130}$	$\frac{297}{52303}$	$\frac{594}{83627}$	$\frac{180}{72305}$	$\frac{837}{87570}$
Расход масла, %, от расхода дизельного топлива							
2012 г.	1,35	1,01	0,36	0,81	1,11	0,53	1,58
2013 г.	0,56	0,89	0,29	0,46	0,54	0,10	0,70
Итого	0,77	0,94	0,31	0,57	0,71	0,25	0,96

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что на опытном тепловозе ЧМЭЗ № 4747 расход моторного масла (0,77%) не превышает аналогичный показатель у тепловозов контрольной группы ЧМЭЗ № 5562 и 5775, среднее значение которого составляет 0,84%.

По данным системы ЦОММ за период подконтрольной эксплуатации с 01.10.2012 по 01.09.2013 гг. бюджет времени работы опытного тепловоза ЧМЭЗ № 4747 составил 7 972 ч, из них 6 392,6 ч или 80,2 % времени тепловоз находился в рабочем состоянии. Аналогичные показатели для тепловозов ЧМЭЗ № 5562 и 5775 составили:

- 8 022,6 ч, из них 74 53,1 ч или 92,9% для тепловоза № 5562;
- 8 013 ч, из них 7 709,8 ч или 96,2% для тепловоза № 5775.

Средний удельный расход топлива тепловозами ЧМЭЗ № 4747, 5562 и 5775 с учетом фактического времени нахождения тепловозов в рабочем состоянии и суммарного расхода дизельного топлива за период с 01.10.2012 по 01.09.2013 гг. составил соответственно 10,36 кг/ч, 11,75 кг/ч и 10,85 кг/ч, при среднем значении удельного расхода по группе тепловозов ЧМЭЗ № 5562 и 5775 равном 11,29 кг/ч. Экономия дизельного топлива тепловозом ЧМЭЗ № 4747 к группе тепловозов ЧМЭЗ № 5562 и 5775 достигла 8,24%.

Информация о расходе топлива тепловозом ЧМЭЗ № 4747 с ЭСУВТ за период эксплуатации с 06.12.2012 по 19.09.2013 гг., рассчитанная по методике оценки эффективности работы маневровых тепловозов с ЭСУВТ, утвержденной ОАО «РЖД», приведена в табл. 9.

Таблица 9

Расход топлива тепловозом ЧМЭЗ № 4747 с ЭСУВТ

Оцениваемый период	Удельный расход топлива, кг/100 лок.-км	Экономия дизельного топлива	
		кг	%
06.12.2012—18.04.2013	545,74	1 430,6	9,37
09.05.2013—25.07.2013	432,75	1 651,2	14,12
25.07.2013—19.09.2013	478,76	889,2	11,69
06.12.2012—19.09.2013	488,83	3971,0	11,49

Для оценки расхода топлива при работе дизеля на режиме холостого хода при нулевой позиции контроллера машиниста в ходе испытаний трижды производилась корректировка часового расхода дизельного топлива. Он периодически проверялся при реостатных испытаниях с измерением весовым способом с помощью электронного расходомера при частоте вращения 350 и 280 мин⁻¹. Экономия дизельного топлива за указанный период эксплуатации составила 3 971 кг или 11,49 % фактического расхода топлива в эксплуатации. Обработка посменных данных о времени работы выбранных для сравнения тепловозов за период эксплуатации с 01.10.2012 по 01.09.2013 гг. по данным из эксплуатационных отчетов АПК «Борт» приведена в табл. 10.

Таблица 10

Распределение режимов работы дизельных двигателей исследуемых тепловозов

Наименование параметра	Номер на ЧМЭЗ тепловоза		
	4747	5562	5775
Комплектация топливной системы	ЭСУВТ	Штатная	Штатная
<i>Баланс времени по тепловозу, %</i>			
Время в движении	26,58	23,21	22,75
Время стоянки	73,42	76,79	77,25
<i>Баланс времени по дизелю, %</i>			
Время в тяге	19,06	15,23	14,70
Время холостого хода	51,96	54,20	54,14
Время вы-бег/торможения	11,54	10,49	10,60
Время прогрева	1,23	0,68	0,75
Время с заглу-шенным дизелем	16,21	19,40	19,81

Как следует из данных, представленных в табл. 10, время работы на режиме холостого хода с учетом времени выбега/торможения для

выбранных к сравнению тепловозов оказалось практически одинаково и равно 52...54%. Результаты обработки посменных данных о работе и расходе топлива опытным и контрольной группой тепловозов ЧМЭЗ, полученных из отчетных форм АПК «БОРТ», приведены в табл. 11. Оценка топливной экономичности тепловозов ЧМЭЗ проведена на основе сравнения удельных расходов топлива, отнесенных к трем измерителям работы тепловозов: 100 км пробега тепловоза, 1 ч работы дизеля и 1 ч работы тепловоза.

Таблица 11

Результаты обработки посменных данных о работе и расходе топлива опытным и контрольной группой тепловозов ЧМЭЗ

Наименование параметра	Номер ЧМЭЗ тепловоза		
	4747	5562	5775
Комплектация топливной системы	ЭСУВТ	Штатная	Штатная
Общий пробег тепловоза, км	11 422	14 866	14 473
Среднемесячный пробег тепловоза, лок.-км/мес	1 038,4	1 351,5	1 315,7
Общее время работы тепловоза, ч: мин: с	5051:33:00	6087:18:00	5926:32:00
Время с работающим дизелем, ч: мин: с	4232:43:33	4906:34:42	4752:43:45
Общий расход топлива, кг	54 911	71 221	68 431
Работа общая, кВт·ч	31 392	111 278	141 189
Средняя техническая скорость тепловоза, км/ч	8,5	10,52	10,74
Средняя мощность тягового генератора, кВт	32,61	119,98	162,09
Удельный расход топлива, кг/100 лок.-км	481	479	473
Среднее квадратическое отклонение, кг/100 лок.-км	47,92	81,35	66,58
Удельный расход топлива дизелем, кг/ч	12,97	14,52	14,40
Среднее квадратическое отклонение, кг/ч	0,98	1,62	0,70
Удельный расход топлива тепловозом, кг/ч	10,87	11,70	11,55

Таблица 12

Показатели эффективности использования тепловозов

Номер тепловоза ЧМЭЗ	Значение коэффициента		
	эффективности использования	внутренней готовности	технической готовности
4747	0,80	0,91	0,80
5562	0,93	0,98	0,93
5775	0,96	0,99	0,96

Причинами пониженных значений коэффициентов эффективности использования и готовности являлись увеличенные временные затраты на НР, ТО и ТР опытного тепловоза. Временные показатели использования тепловозов приведены в табл. 13.

Таблица 13

Временные показатели использования тепловозов

Номер тепловоза ЧМЭЗ	Временные показатели, ч			
	В рабочем состоянии	НР	ТО и ТР	Бюджет времени
4747	6392,6	661,3	918,3	7972,2
5562	7453,1	158	411,5	8022,6
5775	7709,8	81	222,2	8013

Перечень НР тепловозов опытного и контрольной группы с указанием их причин за период подконтрольной эксплуатации приведен в табл. 14. По данным АС ИОММ или АСУТ-ЦТ за период подконтрольной эксплуатации тепловозов зафиксировано 13 случаев НР и рекламаций на тепловозах опытном и контрольной группы из тепловозов ЧМЭЗ № 5562 и 5775, в том числе семь случаев на тепловозе ЧМЭЗ № 4747, два из которых как рекламации, связаны с работой ЭСУВТ.

Таблица 14

Перечень НР тепловозов опытного и контрольной группы с указанием их причин

Номер тепловоза ЧМЭЗ	Дата НР	Причина постановки тепловоза на НР	Время простоя на НР, ч
4747	19.11.12	Выход из строя топливного насоса по обрыву шпилек крепления 4-го ТНВД	21,3
4747	29.11.12	Неисправность регулятора дизеля	18,4
4747	22.01.13	Обрыв шпилек крепления 1-го ТНВД	99
4747	28.01.13	Не определена	62

Как следует из данных, представленных в табл. 11, сравниваемые тепловозы при одинаковом виде и участке работы значительно отличались средней технической скоростью (более 20%) и средней мощностью тягового генератора (3,7—5 раз) по отношению к опытному тепловозу. Кроме того, имелись значительные расхождения по времени работы тепловоза по данным АПК «БОРТ» и ЦОММ, что обусловлено особенностями работы системы «Борт» на локомотиве при выключенной аккумуляторной батарее и ее техническим состоянием. Учитывая, что при сравнении топливной экономичности на единицу пробега локомотива невозможно учесть расход топлива дизелем при стоянке локомотива с работающим дизелем и во время прогрева дизеля, когда пробег локомотива отсутствует, проведена оценка топливной экономичности на 1 ч работы дизеля, по аналогии с оценкой, выполняемой по методике ОАО «РЖД» и обработке маршрутов машиниста ЦОММ.

Экономия удельного расхода топлива дизелем тепловоза ЧМЭЗ № 4747 по сравнению с контрольными составила:

- 1,55 кг/ч (10,67%) по сравнению с ЧМЭЗ № 5562;
- 1,43 кг/ч (9,93%) по сравнению с ЧМЭЗ № 5775;
- 1,46 кг/ч (10,31 %) по сравнению с группой тепловозов ЧМЭЗ № 5562 и 5775.

Результаты оценки эффективности работы тепловоза ЧМЭЗ № 4747 с ЭСУВТ различными методами за период эксплуатации с 01.10.2012 по 01.09.2013 гг. приведены ниже:

Метод оценки топливной эффективности	Экономия дизельного топлива, %
ОАО «РЖД»	11,49
Система ЦОММ	8,24
АПК «Борт»	10,31

Эксплуатационная надежность. Показатели эффективности использования и готовности опытного и выбранных для сравнения тепловозов ЧМЭЗ № 5562 и 5775 за период эксплуатации с 01.10.2012 по 01.09.2013 гг. приведены в табл. 12.

Окончание табл. 14

Номер тепловоза ЧМЭЗ	Дата НР	Причина постановки тепловоза на НР	Время простоя на НР, ч
4747	27.03.13	Задир цилиндровой втулки	110
4747	14.05.13	Неисправность водяной системы охлаждения дизеля	24
4747	26.06.13	Неисправность топливной системы	36
5562	18.02.13	Не определена	—
5562	02.04.13		
5775	19.09.12	Неисправность топливного коллектора дизеля	19,8
5775	17.02.13	Неисправность электрооборудования цепей управления	22
5775	24.02.13	Неисправность реле заземления	20
5775	24.08.13	Неисправность электрооборудования цепей управления (асинхронные вспомогательные электрические машины)	38,6

По классификации отказов случаи обрыва шпилек крепления топливных насосов на тепловозе с ЭСУВТ можно отнести к категории изготовительских, обусловленных низким качеством покупных стандартизованных комплектующих производства КНР. Для повышения безотказности и долговечности оборудования ЭСУВТ шпильки крепления в дальнейшем стали изготавливать на ООО «ППП «Дизельавтоматика».

Выводы

1. Эксплуатационные испытания тепловоза ЧМЭЗ № 4747 в интервале наработки до ТР-1 подтвердили работоспособность системы ЭСУВТ и возможность выполнять заданные функции по автоматическому регулированию частоты вращения и топливоподачи.

2. При контрольных реостатных испытаниях тепловоза ЧМЭЗ № 4747 с ЭСУВТ при уменьшении частоты вращения коленчатого вала дизеля на режиме холостого хода с 350 до 280 мин⁻¹ снижение часового расхода топлива составило в среднем 21,8%.

3. При эксплуатации тепловоза ЧМЭЗ № 4747 в течение 11 месяцев установлено:

- применение системы ЭСУВТ не привело к увеличению бракунок и неплановых смен моторного масла и охлаждающей жидкости;
- улучшение топливной экономичности тепловоза ЧМЭЗ № 4747 по сравнению с тепловозами ЧМЭЗ № 5775 и 5562 при идентичных условиях эксплуатации и различных подходах и методах ее оценки составило 8,24...11,49% (по методике ОАО «РЖД» 11,49%; по данным АПК «БОРТ» — 10,31%; по данным ЦОММ — 8,24%);
- применение системы ЭСУВТ не увеличивает расход масла на «угар».

4. Низкие значения коэффициентов использования и готовности тепловоза ЧМЭЗ № 4747 по сравнению с тепловозами ЧМЭЗ № 5562 и 5775 обусловлены увеличенным временем простоя тепловоза на НР, ТО и ТР из-за низкой надежности и реального технического состояния оборудования дизеля.

Литература

- [1] Марков В.А., Гайворонский А.И., Грехов Л.В., Иващенко Н.А. *Работа дизелей на нетрадиционных топливах*. Москва, Изд-во «Легион-Автодата», 2008. 464 с.
- [2] Поликер Б.Е., Михальский Л.Л., Марков В.А., Васильев В.К., Буханец В.И. *Дизельные двигатели для электроагрегатов и электростанций*. Москва, Изд-во Легион-Автодата, 2006. 328 с.
- [3] Патрахальцев Н.Н. *Неустановившиеся режимы работы двигателей внутреннего сгорания*. Москва, Изд-во Российского университета дружбы народов, 2009. 380 с.
- [4] Ширяев В.М. Четырехтактные двигатели семейства Д49. *Тяжелое машиностроение*, 2002, № 9, с. 16–19.
- [5] Коссов Е.Е., Шапран Е.Н., Фурман В.В. *Совершенствование режимов работы силовых энергетических систем тепловозов*. Луганск, Изд-во Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, 2006. 280 с.
- [6] Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. *Системы топливоподачи и управления дизелей*. Москва, Изд-во «Легион-Автодата», 2005. 344 с.
- [7] Bosch: *Системы управления дизельными двигателями*. Москва, Изд-во «За рулем», 2004. 480 с.
- [8] *Diesel-Reiheneinspritzpumpen-Verteilereinspritzpumpen*. Technische Unterrichtung, Stuttgart, Robert Bosch GmbH, 2002. 144 p.
- [9] Игин В.Н., Захватов А.В., Игин Ф.В. Резервы повышения энергоэффективности тепловозов. *Локомотив*, 2013, № 3, с. 2–3.

References

- [1] Markov V.A., Gaivoronskii A.I., Grekhov L.V., Ivashchenko N.A. *Rabota dizelei na netraditsionnykh toplivakh* [Work on non-conventional diesel fuels]. Moscow, Legion-Avtodata publ., 2008. 464 p.
- [2] Poliker B.E., Mikhal'skii L.L., Markov V.A., Vasil'ev V.K., Bukhanets V.I. *Dizel'nye dvigateli dlia elektroagregatov i*

elektrostantsii [Diesel engines for generating sets and power plants]. Moscow, Legion-Avtodata publ., 2006. 328 p.

[3] Patrakhal'tsev N.N. *Neustanovivshiesia rezhimy raboty dvigatelei vnutrennego sgoraniia* [Transient modes of internal combustion engines]. Moscow, Rossiiskii universitet druzhby narodov publ., 2009. 380 p.

[4] Shiriaev V.M. *Chetyrekhtaktnye dvigateli semestva D49* [Four-stroke diesel engines of d49 family]. *Tyazheloe mashinostroenie* [Russian journal of heavy machinery]. 2002, no. 9, pp. 16–19.

[5] Kossov E.E., Shapran E.N., Furman V.V. *Sovershenstvovanie rezhimov raboty silovykh energeticheskikh sistem teplovozov* [Improving modes of power energy systems locomotives]. Lugansk, Vostochnoukrainskii natsional'nyi universitet im. V. Dalia publ., 2006. 280 p.

[6] Grekhov L.V., Ivashchenko N.A., Markov V.A. *Sistemy toplivopodachi i upravleniia dizelei* [Fuel system and engine control]. Moscow, Legion-Avtodata publ., 2005. 344 p.

[7] *Bosch: Sistemy upravleniia dizel'nymi dvigateliami* [Bosch: Diesel Engine Management Systems]. Moscow, Za rulem publ., 2004. 480 p.

[8] *Diesel-Reiheneinspritzpumpen-Verteilereinspritzpumpen*. Technische Unterrichtung-Robert Bosch GmbH, Stuttgart, 2002. 144 p.

[9] Igin V.N., Zakhvatov A.V., Igin F.V. *Rezervy povysheniia energoeffektivnosti teplovozov* [Reserves increase energy locomotives]. *Lokomotiv* [Locomotive]. 2013, no. 3, pp. 2–3.

Статья поступила в редакцию 30.01.2014

Информация об авторах

ИГИН Валерий Николаевич (Москва) — доктор технических наук, начальник отдела Дирекции тяги ОАО «РЖД» (107174, Москва, Российская Федерация, Новая Басманная ул., д. 2).

МАРКОВ Владимир Анатольевич (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Теплофизика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: markov@power.bmstu.ru).

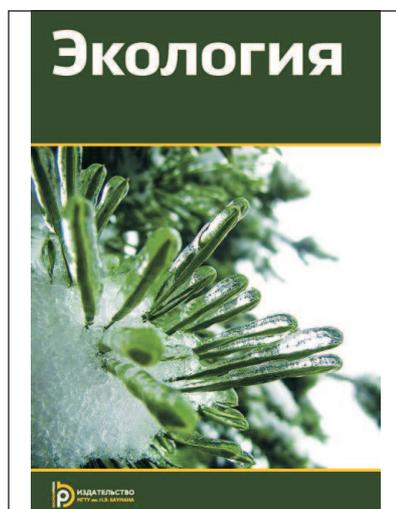
ФУРМАН Виктор Владимирович (Саратов) — кандидат технических наук, ведущий конструктор проектно-производственного предприятия ООО «ППП «Дизельавтоматика» (410017, Саратов, Российская Федерация, Чернышевского ул., д. 109).

Information about the authors

IGIN Valeriy Nikolaevich (Moscow) — Dr. Sc. (Eng.), Head of Department. JSC «Russian Railways» (Novaya Basmannaya str., 2, 107174, Moscow, Russian Federation).

MARKOV Vladimir Anatol'evich (Moscow) — Dr. Sc. (Eng.), Professor of «Thermal Physics» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: markov@power.bmstu.ru).

FURMAN Viktor Vladimirovich (Saratov) — Cand. Sc. (Eng.), Leading Designer of Design and Production Enterprise «Dizel'avtomatika» (Chernyshevskogo str., 109, 410017, Saratov, Russian Federation).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана вышло в свет учебное пособие «Экология», авторов М.Н. Корсака, С.А. Мошарова, А.П. Пестрякова, М.И. Кроленко, Е.В. Титова.

В пособии изложены основы общей экологии, закономерности действия экологических факторов, особенности экологии популяций, сообществ и экосистем; описаны основные среды жизни, биогеохимические циклы важнейших биогенных элементов, адаптация живых организмов к различным условиям жизни; рассмотрены принципы экологического мониторинга и нормирования, влияние неблагоприятных экологических факторов на здоровье человека, глобальные экологические проблемы.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;

press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru