

**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,
«Dizelavtomatika»)

**ИВАНОВ**

Виктор Алексеевич
(ООО ППП
«Дизельавтоматика»)

IVANOV

Viktor Alekseevich
(Saratov, Russian Federation,
«Dizelavtomatika»)

Оценка эффективности системы автоматического регулирования частоты вращения тепловозного дизеля

В.А. Марков, В.В. Фурман, В.А. Иванов

Система автоматического регулирования частоты вращения вала дизельного двигателя — одна из основных систем тепловозного дизеля. Применяемые в отечественных дизелях механические и гидромеханические регуляторы частоты вращения не всегда позволяют обеспечить необходимое качество процесса регулирования. Поэтому все большее применение находят электронные системы автоматического регулирования частоты вращения. Проанализированы режимы работы дизелей тепловозов в различных условиях эксплуатации. Описана электронная система автоматического регулирования частоты вращения тепловозного дизеля. Разработана методика оценки экономической эффективности использования этой системы. Расчеты показали, что при установке разработанной электронной системы автоматического регулирования годовой экономический эффект составил 84 089 руб. на один тепловоз.

Ключевые слова: дизельный двигатель, система регулирования частоты вращения вала двигателя, экономическая эффективность.

Evaluating the efficiency of the automatic speed control of a locomotive diesel

V.A. Markov, V.V. Furman, V.A. Ivanov

The automatic shaft speed control is one of the main systems of a locomotive diesel. Mechanical and hydro-mechanical frequency regulators used in domestic diesel engines do not always provide the required quality of control. Therefore, electronic rotational speed control systems are finding ever-widening applications. In this paper, the operation of locomotive diesel engines under various operating conditions is analyzed. An electronic rotational speed control system of a locomotive diesel engine is described. A technique for evaluating economic efficiency of this system is developed. The calculations showed that annual economic benefits of the electronic automatic control system amounted to 84 089 rubles per a locomotive.

Keywords: diesel engine, control system, automatic speed control, economic efficiency.

Для транспортных дизелей наиболее характерными условиями эксплуатации являются работа в условиях быстро изменяющихся нагрузок и преобладание неустановившихся режимов. Такая работа

двигателей типична, в частности, для автомобильного транспорта в условиях внутригородских перевозок. В этом случае автомобильные двигатели до 90% времени функционируют на неустановившихся режимах [1—4] и их работа характеризуется значительными отличиями параметров двигателя от соответствующих значений на установившихся режимах. Почти все современные магистральные и маневровые тепловозы оснащаются почти исключительно дизельными двигателями (турбовозы с газотурбинными двигателями практически не используются). Работа тепловозных дизелей в эксплуатационных условиях характеризуется частыми и резкими изменениями скоростных и нагрузочных режимов [5—9]. Смена режима работы тепловозного двигателя может быть обусловлена целым рядом факторов, среди которых можно выделить изменения скорости движения поезда, профиля пути, массы состава, направления и силы ветра [10—12]. На работу тепловозного двигателя также оказывают влияние температура и давление окружающего воздуха, свойства используемого топлива. Любое изменение скоростного и нагрузочного режимов сопровождается переходным процессом в двигателе, т. е. переходом из одного установившегося состояния в другое под влиянием управляющих или возмущающих воздействий. В зависимости от характера и величины изменения нагрузки и частоты вращения коленчатого вала тепловозного двигателя его переходные процессы можно разделить на два типа [13, 14]:

1) переходные процессы, связанные со значительными изменениями нагрузки и частоты вращения коленчатого вала двигателя при переводах рукоятки контроллера машиниста из одного положения в другое;

2) переходные процессы, обусловленные колебаниями нагрузки при неизменном положении контроллера. Такие колебания возникают в связи с изменениями внешних условий или мощности вспомогательных агрегатов силовой установки тепловоза (включение или выключение тормозного компрессора, вентиляторов и т. д.).

Переходные процессы первого типа возникают в двигателе из-за существенных изменений условий эксплуатации тепловоза, которые требуют изменения скоростного и нагрузочного режимов двигателя путем перемещения рукоятки контроллера машинистом. Переходные процессы второго типа обусловлены изменениями внешних условий, приводящими к возникновению незначительных несоответствий в системе «двигатель-потребитель». Эти несоответствия корректируются системой автоматического регулирования или управления (САР или САУ) частоты вращения и мощности двигателя без вмешательства машиниста [1]. При возникновении переходных процессов второго типа технико-экономические показатели тепловозных двигателей изменяются в меньшей степени, чем при появлении переходных процессов первого типа.

По данным ряда исследований в условиях реальной эксплуатации тепловозов продолжительность переходных процессов в двигателе составляет для дизель-генераторов магистральных тепловозов 5...20% всего времени работы, а для дизель-генераторов маневровых тепловозов 25...40% [14, 15]. Эти данные получены при учете переходных процессов только первого типа, которые приводят к наиболее существенному ухудшению индикаторного КПД дизельного двигателя η_i . С учетом переходных процессов второго типа их общая продолжительность становится еще более значительной.

Таким образом, частая смена скоростного и нагрузочного режимов особенно характерна для двигателей маневровых тепловозов. Однако и в двигателях магистральных тепловозов наблюдаются постоянные с интервалом 1...6 мин изменения режимов, даже при движении поезда по сравнительно несложному участку пути (рис. 1) [14].

Представленные на рис. 1 данные свидетельствуют о том, что в рассматриваемых условиях эксплуатации двигателя магистрального тепловоза положение контроллера изменяется в среднем 6—7 раз в течение 10 мин. При этом возникают переходные процессы наброса и сброса нагрузки, в которых подача топлива может изменяться в диапазоне от 0 до 100%.

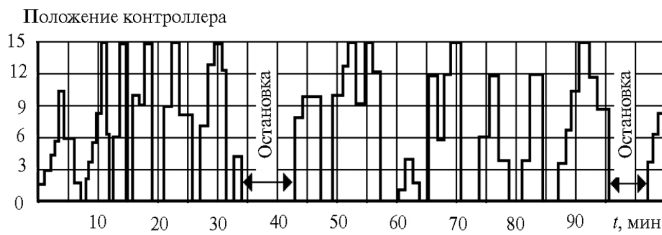


Рис. 1. Изменения положения контроллера, вызывающие изменения режимов работы двигателя магистрального тепловоза при его эксплуатации на перегоне

Следует также отметить, что в общем случае для магистральных тепловозов длительность работы дизеля на номинальном режиме не является определяющей. Обычно продолжительность работы на этом режиме не превышает 50% всего времени эксплуатации. В среднем длительность работы двигателей магистральных тепловозов на режимах холостого хода составляет около 40%, а на неустановившихся режимах — более 20% всего времени работы.

В целом, исследования работы дизелей тепловозов различного назначения показывают, что число переключений позиций контроллера (смен режимов) за 1 ч работы для дизелей грузовых поездов в среднем составляет 50—90, пассажирских — 110—115, маневровых — до 130 [14]. Частая смена скоростных и нагрузочных режимов работы наиболее характерна для дизельных двигателей маневровых тепловозов. Причем, основную долю эксплуатационных режимов этих двигателей составляют неустановившиеся режимы [14—17]. Так, режимометрирование дизеля мод. Д50 (6 ЧН 31,8/33) маневрового тепловоза типа ТЭ в реальных эксплуатационных условиях дало следующие результаты. На режимы холостого хода приходится около 32% всего времени эксплуатации исследуемого дизеля, а на неустановившиеся режимы — 49%. Стоянке тепловоза с заглушенным дизельным двигателем соответствует 19% времени [14]. Еще одно характерное для указанных условий распределение времени работы дизеля маневрового тепловоза по интервалам мощности представлено на рис. 2. Оно свидетельствует о значительной доле (более 50%) режимов холостого хода (х/х) в общем распределении режимов работы дизеля.

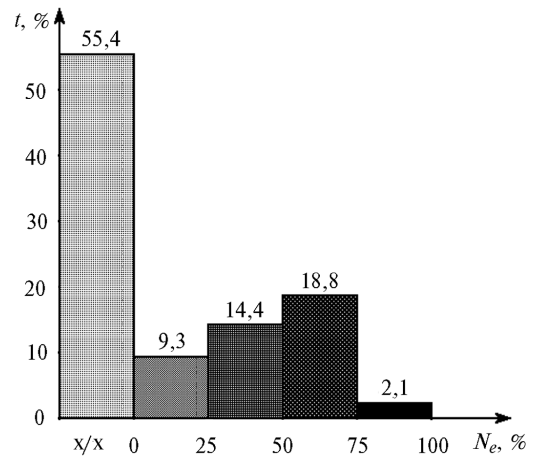


Рис. 2. Распределение времени работы t дизеля маневрового тепловоза по интервалам мощности N_e

Указанные особенности распределения режимов дизельных двигателей маневровых тепловозов необходимо учитывать при создании и исследовании различных САР или САУ и оценке эффективности их использования в тепловозных дизелях. Такие исследования и оценка эффективности проведены применительно к электронной системе автоматического регулирования частоты (САРЧ) вращения коленчатого вала дизеля типа 12 ЧН 26/26, разработанной производственно-промышленным предприятием ООО «ППП «Дизельавтоматика» (г. Саратов).

Электронная САРЧ вращения коленчатого вала дизеля типа 12 ЧН 26/26 состоит из следующих звеньев регулирования: дизеля с топливным насосом высокого давления (ТНВД); модулятора дизеля (диск с зубьями, вращающийся с числом оборотов n); датчика частоты вращения (ДЧВ); электронного регулятора частоты вращения (ЭРЧВ), содержащего блок управления и электрогидравлическое исполнительное устройство (ИУ); рычажной передачи от ИУ к ТНВД. Структурная схема САРЧ дизеля 12 ЧН 26/26 приведена на рис. 3.

Для технико-экономического обоснования необходимости замены штатного гидромеханического регулятора на ЭРЧВ разработана методика экономической эффективности использования этой системы. При этом оценивалась, в первую очередь, точность поддержания требуемого скоростного режима электронным регулятором частоты вращения. В результате

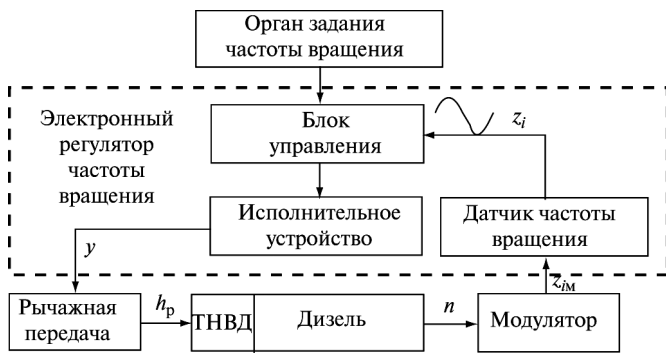


Рис. 3. Структурная схема САРЧ дизеля 12 ЧН 26/26:

n — частота вращения дизеля; y — перемещение выходного органа (ход сервомотора) ИУ; h_p — ход рейки ТНВД; z_m — число зубьев модулятора, проходящих за 1 с мимо ДЧВ при вращении вала дизеля; z_i — число периодов синусоидальных сигналов, поступающих от ДЧВ за 1 с

применения на дизеле ЭРЧВ снижается нестабильность частоты вращения n (неравномерность угловой скорости ω_d) по сравнению с применяемыми штатными гидромеханическими регуляторами. Уменьшение неравномерности угловой скорости коленчатого вала дизеля обусловлено снижением избыточной работы цикла вследствие быстрого действия электронного регулятора, что приводит к сокращению расхода топлива.

Методика основана на подсчете избыточной работы цикла по формулам, приведенным в работе [18]. При этом избыточная работа цикла, Дж,

$$L_{и} = I_{д} \omega_{д}^2 \delta_{\omega}, \quad (1)$$

где $I_{д}$ — приведенный момент инерции дизеля с навесными агрегатами, кг·м²; $\omega_{д}$ — угловая скорость вращения коленчатого вала, с⁻¹; δ_{ω} — неравномерность угловой скорости $\omega_{д}$ (или δ_n — относительная неравномерность частоты вращения n , $\delta_n = \Delta n/n_0$, где Δn — отклонения частоты вращения; n_0 — частота вращения на установившемся режиме), с. Угловая скорость вращения коленчатого вала

$$\omega_{д} = \pi n / 30. \quad (2)$$

Здесь n — частота вращения коленчатого вала дизеля, мин⁻¹.

Избыточное тепло цикла (циклом считается период работы всех цилиндров дизеля), ккал,

$$Q_{и} = 10^{-3} L_{и} / Q_{к}, \quad (3)$$

где $Q_{к} = 4,19$ кДж/ккал — переводной коэффициент (1 ккал = 4,19 кДж).

Дополнительный расход топлива, кг, обусловленный избыточной работой цикла,

$$G_{иц} = Q_{и} / H_U, \quad (4)$$

где $H_U = 10\,200$ ккал/кг — теплотворная способность дизельного топлива.

Дополнительный расход топлива за 1 год, т, обусловленный избыточной работой цикла:

- для четырехтактного дизеля

$$G_T = 3,6 G_{иц} n T / 120; \quad (5)$$

- для двухтактного дизеля

$$G_T = 3,6 G_{иц} n T / 60. \quad (6)$$

Здесь T — число часов работы дизеля за 1 год, ч.

Годовая экономия топлива, т,

$$\Delta G_T = G_{T1} - G_{T2}, \quad (7)$$

где G_{T1} — дополнительный расход топлива за 1 год, обусловленный избыточной работой цикла дизеля с гидромеханическим регулятором; G_{T2} — дополнительный расход топлива за 1 год, обусловленный избыточной работой цикла дизеля с электронным регулятором.

Стоимость дополнительно израсходованного за 1 год топлива, руб., обусловленного избыточной работой цикла,

$$C = \Pi_T G_T. \quad (8)$$

Здесь $\Pi_T = 15\,000$ руб./т — цена 1 т дизельного топлива.

Годовой экономический эффект, руб.,

$$\Theta = C_1 - C_2, \quad (9)$$

где C_1 — стоимость дополнительного расхода топлива за 1 год, обусловленного избыточной работой цикла дизеля с гидромеханическим регулятором; C_2 — стоимость дополнительного расхода топлива за 1 год, обусловленного избыточной работой цикла дизеля с электронным регулятором.

По представленной методике проведен расчет применительно к тепловозному дизель-генератору 1—ПДГ4 с дизелем 6 ЧН 31,8/33. Рассмотрены следующие режимы работы: мини-

мальный скоростной режим с частотой вращения $n = 300 \text{ мин}^{-1}$, частичный скоростной режим с $n = 400 \text{ мин}^{-1}$ и номинальный скоростной режим с $n = 750 \text{ мин}^{-1}$. Для режима с $n = 300 \text{ мин}^{-1}$ дизеля с гидромеханическим регулятором относительная неравномерность частоты вращения $\delta_n = 0,0333$ (нестабильность частоты вращения $\Delta n = 10 \text{ мин}^{-1}$), а с электронным регулятором — $\delta_n = 0,0167$ ($\Delta n = 5 \text{ мин}^{-1}$). Для режима работы с $n = 400 \text{ мин}^{-1}$ дизеля с гидромеханическим регулятором $\delta_n = 0,02$ ($\Delta n = 8 \text{ мин}^{-1}$), а с электронным регулятором — $\delta_n = 0,0075$ ($\Delta n = 3 \text{ мин}^{-1}$). Для режима работы с $n = 750 \text{ мин}^{-1}$ дизеля с гидромеханическим регулятором $\delta_n = 0,0067$ ($\Delta n = 5 \text{ мин}^{-1}$), а с электронным регулятором $\delta_n = 0,0027$ ($\Delta n = 2 \text{ мин}^{-1}$). При расчетах принято, что приведенный момент инерции дизеля $I_d = 242,645 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, а общее число часов работы тепловозного дизель-генератора за 1 год — $T = 5\,000 \text{ ч}$. В соответствии с данными работы [1] относительная продолжительность работы маневрового тепловоза (по отношению общей продолжительности работы) составляет: при ра-

боте на холостом ходу — 55...62%, при работе на номинальном режиме — 0,6...1,8%. В связи с этим принято, что продолжительность работы дизеля на режиме холостого хода при $n = 300 \text{ мин}^{-1}$ равна 60% или $T = 3\,000 \text{ ч}$, а на режиме с $n = 750 \text{ мин}^{-1}$ — 1% или $T = 50 \text{ ч}$. Следовательно, продолжительность работы на частичном режиме с $n = 400 \text{ мин}^{-1}$ составляет $T = 5\,000 - 3\,000 - 50 = 1\,950 \text{ ч}$. Результаты дальнейших расчетов сведены в таблицу.

Таким образом, проведенные расчетные исследования показали, что при принятом распределении режимов работы, характерном для дизельных двигателей маневровых тепловозов, и установке ЭРЧВ общий годовой экономический эффект составил 84 089 руб. на один тепловоз.

Литература

- [1] Грехов Л.В., Ивашенко Н.А., Марков В.А. *Системы топливоснабжения и управления дизелей*. Москва, Изд-во «Легион-Автодата», 2005, 344 с.
- [2] Hagen J.R., Filipi Z.C., Assanis D.N. Transient Diesel Emissions: Analysis of Engine Operation During a Tip-In. *SAE Technical Paper Series*, 2006, no. 2006-01-1151, pp. 1–12.
- [3] Rakopoulos C.D., Giakoumis E.G., Hountalas D.T. The Effect of Various Dynamic, Thermodynamic, and Design Parameters on the Performance

Результаты расчета экономической эффективности замены штатного гидромеханического регулятора частоты вращения дизеля 6 ЧН 31,8/33 дизель-генератора 1—ПДГ4 с электронным регулятором частоты вращения

Частота вращения n , мин^{-1}	Угловая скорость ω_n , с^{-1}	Избыточная работа цикла L_n , Дж	Избыточное тепло цикла Q_n , ккал	Расход топлива на избыточную работу цикла за цикл $G_{n,из}$, кг	Расход топлива на избыточную работу цикла за 1 год G_n , кг	Стоимость топлива, расходуемого на избыточную работу цикла за 1 год, С, руб.
300	<i>С гидромеханическим регулятором</i>					
	31,416	7 974,72	1,904	0,000187	5,05	75 735
	<i>С электронным регулятором</i>					
	31,416	3 999,37	0,954	0,000094	2,54	38 100
Годовая экономия топлива $\Delta G_T = 2,51 \text{ т}$ Годовой экономический эффект $\Theta = 75\,735 - 38\,100 = 37\,635 \text{ руб.}$						
400	<i>С гидромеханическим регулятором</i>					
	41,888	8 514,88	2,032	0,0002	4,7	70 484
	<i>С электронным регулятором</i>					
	41,888	3 193	0,762	0,000075	1,76	26 431
Годовая экономия топлива $\Delta G_T = 2,94 \text{ т}$ Годовой экономический эффект $\Theta = 70\,484 - 26\,431 = 44\,054 \text{ руб.}$						
750	<i>С гидромеханическим регулятором</i>					
	78,54	10 028,2	2,394	0,000234	0,26	3 900
	<i>С электронным регулятором</i>					
	78,54	4 041,24	0,9647	0,000094	0,10	1 500
Годовая экономия топлива $\Delta G_T = 0,26 - 0,1 = 0,16 \text{ т}$ Годовой экономический эффект $\Theta = 3\,900 - 1\,500 = 2\,400 \text{ руб.}$						
Общая годовая экономия топлива $2,51 + 2,94 + 0,16 = 5,61 \text{ т}$ Общий годовой экономический эффект $37\,635 + 44\,054 + 2\,400 = 84\,089 \text{ руб.}$						

of a Turbocharged Diesel Engine Operating Under Transient Load Conditions. *SAE Technical Paper Series*, 2004, no. 2004-01-0926, pp. 1–10.

[4] Wijetunge R.S., Brace C.J., Hawley J.G. Dynamic Behaviour of a High Speed Direct Injection Diesel Engine. *SAE Technical Paper Series*, 1999, no. 1999-01-0829, pp. 1–10.

[5] Шелест П.А. Современные промышленные тепловозы. Москва, Транспорт, 1978, 224 с.

[6] Симсон А.Э., Хомич А.З., Куриц А.А., Бартош Е.Т., Грицевский М.Е. *Двигатели внутреннего сгорания. Тепловые дизели и газотурбинные установки*. Москва, Транспорт, 1980, 384 с.

[7] 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.

[8] Борисенко А.Н., Еникеев А.Ф., Заславский Е.Г., Золотых В.В., Соболев В.Н. Устройство контроля мощности тепловозного дизель-генератора. *Двигателестроение*, 1990, № 9, с. 32, 46.

[9] Хомич А.З. Оценка эксплуатационной топливной эффективности тепловозного дизеля. *Двигателестроение*, 1979, № 7, с. 47–49.

[10] Коссов Е.Е., Сухопаров С.И. *Оптимизация режимов работы тепловозных дизель-генераторов*. Москва, Изд-во Интекст, 1999, 184 с.

[11] Балабин Н.В. Перспективы развития тепловозных дизелей нового поколения. *Двигатель*, 2007, № 4, с. 44–47.

[12] Хомич А.З. *Топливная эффективность и вспомогательные режимы тепловозных дизелей*. Москва, Транспорт, 1987, 271 с.

[13] Луков Н.М. *Автоматические системы управления и регулирования тепловозов*. Москва, Изд-во МИИТ, 1983, 144 с.

[14] Патрахальцев Н.Н. *Неустановившиеся режимы работы двигателей внутреннего сгорания*. Москва, Изд-во Российского университета дружбы народов, 2009, 380 с.

[15] Гончаров Н.Е., Казанцев В.П. *Маневровая работа на железнодорожном транспорте*. Москва, Транспорт, 1978, 183 с.

[16] Вилькевич Б.И. *Автоматическое управление электрической передачей и электрические схемы тепловозов*. Москва, Транспорт, 1987, 272 с.

[17] Кузьмич В.Д., Бородулин И.П., Пахомов Э.А. *Тепловозы. Основы теории и конструкции*. Москва, Транспорт, 1991, 352 с.

[18] Колчин А.И., Демидов В.П. *Расчет автомобильных и тракторных двигателей*. Москва, Высшая школа, 1980, 400 с.

References

[1] 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.

[2] Hagen J.R., Filipi Z.C., Assanis D.N. Transient Diesel Emissions: Analysis of Engine Operation During a Tip-In. *SAE Technical Paper Series*, 2006, no. 2006-01-1151, pp. 1–12.

[3] Rakopoulos C.D., Giakoumis E.G., Hountalas D.T. The Effect of Various Dynamic, Thermodynamic, and Design Parameters on the Performance of a Turbocharged Diesel Engine Operating Under Transient Load Conditions. *SAE Technical Paper Series*, 2004, no. 2004-01-0926, pp. 1–10.

[4] Wijetunge R.S., Brace C.J., Hawley J.G. Dynamic Behaviour of a High Speed Direct Injection Diesel Engine. *SAE Technical Paper Series*, 1999, no. 1999-01-0829, pp. 1–10.

[5] Shelest P.A. *Sovremennye promyshlennye teplovozy* [Modern industrial locomotives]. Moscow, Transport publ., 1978. 224 p.

[6] Simson A.E., Khomich A.Z., Kurits A.A., Bartosh E.T., Gritsevskii M.E. *Dvigateli vnutrennego sgoraniia. Teplovozyne dizeli i gazoturbinnye ustanovki* [Internal combustion engines. Locomotive diesel engines and gas turbines]. Moscow, Transport publ., 1980. 384 p.

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

[8] Borisenko A.N., Enikееv A.F., Zaslavskii E.G., Zolotykh V.V., Sobol' V.N. *Ustroistvo kontrolya moshchnosti teplovoznogo dizel'-generatora* [Power monitor diesel genset]. *Dvigatelstroyeniye* [Engine Building]. 1990, no. 9, pp. 32, 46.

[9] Khomich A.Z. *Otsenka ekspluatatsionnoi toplivnoi effektivnosti teplovoznogo dizelia* [Evaluation of operational fuel efficiency of diesel locomotive]. *Dvigatelstroyeniye* [Engine Building]. 1979, no. 7, pp. 47–49.

[10] Kossov E.E., Sukhoparov S.I. *Optimizatsiia rezhimov raboty teplovoznnykh dizel'-generatorov* [Optimize operation of locomotive diesel generators]. Moscow, Intekst publ., 1999. 184 p.

[11] Balabin N.V. *Perspektivy razvitiia teplovoznnykh dizelei novogo pokoleniia* [Prospects for the development of a new generation of diesel engines]. *Dvigatel'* [Engine]. 2007, no. 4, pp. 44–47.

[12] Khomich A.Z. *Toplivnaia effektivnost' i vspomogatel'nye rezhimy teplovoznnykh dizelei* [Fuel efficiency and auxiliary modes of diesel engines]. Moscow, Transport publ., 1987. 271 p.

[13] Lukov N.M. *Avtomaticheskie sistemy upravleniia i regulirovaniia teplovozov* [Automatic control and regulation of locomotives]. Moscow, MIIT publ., 1983. 144 p.

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

[15] Goncharov N.E., Kazantsev V.P. *Manevrovaia rabota na zheleznodorozhnom transporte* [Shunting operations at railway]. Moscow, Transport publ., 1978. 183 p.

[16] Vil'kevich B.I. *Автоматическое управление электрической передачей и электрические схемы тепловозов* [Automatic control of electric transmission and electric locomotives scheme]. Moscow, Transport publ., 1987. 272 p.

[17] Kuz'mich V.D., Borodulin I.P., Pakhomov E.A. *Teplovozy: Osnovy teorii i konstruktсии* [Locomotives: Basic theory and design]. Moscow, Transport publ., 1991. 352 p.

[18] Kolchin A.I., Demidov V.P. *Raschet avtomobil'nykh i traktornykh dvigatelei* [Calculation of automobile and tractor engines]. Moscow, Vysshiaia shkola publ., 1980. 400 p.

Статья поступила в редакцию 25.06.2013

Информация об авторах

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).

ИВАНОВ Виктор Алексеевич (Саратов) — инженер-конструктор проектно-производственного предприятия ООО «ППП Дизельавтоматика» (410017, Саратов, Российская Федерация, Чернышевского ул., д. 109).

Information about the authors

MARKOV Vladimir Anatol'evich (Moscow) — Dr. Sci. (Eng.), Professor of «Thermophysics» 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. Sci. (Eng.), Leading Designer of Design and Production Enterprise «Dizelavtomatika» (Chernyshevskogo str., 109, 410017, Saratov, Russian Federation).

IVANOV Viktor Alekseevich (Saratov) — Design Engineer of Design and Production Enterprise «Dizelavtomatika» (Chernyshevskogo str., 109, 410017, Saratov, Russian Federation).