

*А.Б. Богаевский, А.Н. Борисенко, М.С. Войтенко*

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ

*Предложена методика определения в относительной форме оценок снижения расхода топлива дизель – генератора маневрового тепловоза при эксплуатации в режимах холостого хода и тяговой работе, получены числовые величины оценок влияния на снижение расхода топлива технических и организационных мероприятий по совершенствованию управления работой дизель – генератора маневрового тепловоза.*

### **Актуальность работы**

Эксплуатация дизель – генераторов тепловозов, особенно маневровых, характеризуется значительным временем их работы на малых нагрузках, холостом ходу и переходных режимах. Поэтому снижение расхода топлива на этих режимах и, особенно на переходных, является актуальной проблемой.

Для решения проблемы экономии топлива на тепловозы внедряются различные мероприятия, направленные на совершенствование управления эксплуатационной работой. В общем случае эти мероприятия можно разделить на организационные и технические. К организационным мероприятиям относятся различные методики и рекомендации, предназначенные для машинистов. В соответствии с рекомендациями машинистам, в основном, предписывается сокращать время работы маневрового тепловоза на холостом ходу. Для поддержки этого рода мероприятий на тепловозы устанавливаются средства учета топлива такие как «БИС-Р», «Дельта-СУ». И, казалось бы, с их помощью можно без труда определить степень влияния того или иного мероприятия на снижение удельного эффективного среднеэксплуатационного расхода топлива. Однако это приборы с косвенным измерением, а не с прямым измерением. Поэтому их показания из-за особенностей конструкции первичных датчиков, способов измерения и подстройки под каждый локомотив и, как следствие, низкой точности (погрешность не менее 5 %) не могут быть использованы в случаях, когда речь идет об экономии на уровне 5-6 %. Таким образом, внедрение организационных мероприятий безусловно дает положительный эффект, однако оценка этого эффекта в значительной мере довольно субъективна.

К техническим мероприятиям необходимо отнести внедрение электронных систем управления дизель – генераторами различных производителей, отечественных и зарубежных, модернизацию таких элементов топливной системы как форсунки и т.д. Указанные мероприятия непосредственно влияют на снижение удельного эффективного среднеэксплуатационного расхода топлива, который является

единственно объективным показателем эксплуатационной экономичности тепловозного дизеля и на их работу машинист не может оказывать никакого влияния. Однако оценить эффект снижения расхода топлива от их внедрения на дизель – генератор маневрового тепловоза с помощью ранее указанных приборов учета не представляется возможным, так как приборы учета имеют погрешность на уровне экономии, которую обеспечивают технические мероприятия, в частности электронные системы управления топливоподачей [1,2].

Поэтому определение влияния на снижение расхода топлива дизель – генератора маневрового тепловоза от внедрения как организационных, так и технических мероприятий целесообразно сделать расчетным способом, так как экспериментальный метод требует существенных материальных и временных затрат. Особенно значительными рабочие и временные затраты будут в случае исследования работы дизель – генераторов маневровых тепловозов.

### **Материал и результаты исследований**

При расчетном исследовании работы дизель – генератора на эксплуатационных режимах важным вопросом является выбор длительности эксплуатационного цикла. Для тепловозных дизелей в эксплуатации характерной является работа со многими переключениями с режима на режим. При этом на установившихся режимах дизель может работать ограниченное время, а иногда даже не успевает задержаться на каком либо установившемся режиме и сразу же переводится на новый режим.

Необходимо анализировать работу дизель – генератора во всем эксплуатационном цикле, учитывая как установившиеся, так и переходные режимы при разгоне и торможении. При этом большее значение имеет соотношение времен установившихся и переходных процессов во всем эксплуатационном цикле. В [4] предлагается под эксплуатационным циклом понимать некоторую совокупность установившихся и переходных режимов работы тепловозного дизель – генератора в течение

относительно короткого (несколько минут) отрезка времени, которая многократно повторяется за весь период выполнения тепловозом конкретной технологической операции. В эксплуатационном цикле отражаются не только соотношения отдельных режимов, но и их последовательность, длительность и частота изменений.

В [4] предложен для исследования расчетным путем условный эксплуатационный цикл, который приведен на рис. 1. При составлении условного эксплуатационного цикла длительностью примерно 11 минут учитывались многолетние исследования эксплуатационных режимов ДГ МТ, которые проводились Уральским отделением Всероссийского НИИ железнодорожного транспорта.

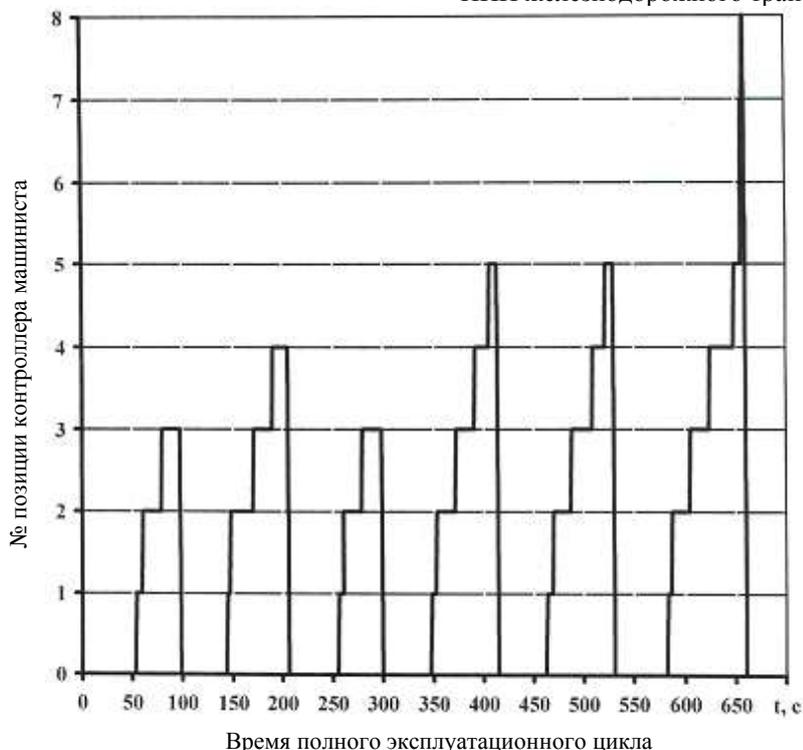


Рис.1. Последовательность включения позиций контроллера за время условного эксплуатационного цикла

Количество изменений режимов (переключения позиций контроллера) и относительное время пребывания ДГ МТ на каждой позиции контроллера соответствует среднестатистическим значениям этих переменных величин в эксплуатации.

В таблице 1 более точно показано время в секундах, через которое включается та или иная позиция контроллера тепловоза и какой номинальной частоте соответствуют эти позиции.

Суммарные затраты топлива в эксплуатационной работе маневрового тепловоза можно представить следующим выражением:

$$B_{\Sigma} = B_T + B_{XX} + B_{ЗАП}, \quad (1)$$

где  $B_T$  - затраты топлива на режимы тяги;

$B_{XX}$  - затраты топлива на режиме холостого хода;

$B_{ЗАП}$  - затраты топлива на запуски двигателя.

Составляющие выражения (1) можно определить по известным формулам:

$$B_T = g_T \cdot t_T; \quad B_{XX} = g_{XX} \cdot t_{XX}; \quad B_{ЗАП} = g_{ЗАП} \cdot n, \quad (2)$$

где  $g_T, g_{XX}, g_{ЗАП}$  - затраты топлива, соответственно, на режимы тяги, холостого хода и запуск дизеля;  $t_T, t_{XX}$  - время работы, соответственно, на режимах тяги и холостого хода;  $n$  - количество запусков дизеля маневрового тепловоза за смену. Дизель-генераторы подавляющего числа маневровых тепловозов промышленных предприятий и предприятий украинских железных дорог не оборудованы современными электронными средствами управления топливоподачей. Поэтому основное направление снижения затрат топлива при маневровой работе направлено на снижение показателя  $t_{XX}$ . При этом снижение  $t_{XX}$ , естественно, приводит к увеличению числа запусков  $n$ , а значит к увеличению составляющей  $B_{ЗАП}$  в формуле (1).

Вопрос определения  $B_{ЗАП}$  требует отдельного исследования, поэтому в работе будут получены оценки, позволяющие определить степень влияния на снижение топлива изменения параметров, кото-

рые входят в состав  $B_T$  и  $B_{XX}$  в формуле (1), которую предлагается привести к виду

$$B_{\Sigma} = B_T + B_{XX}, \quad (3)$$

или через составляющие

$$B_{\Sigma} = g_T \cdot t_T + g_{XX} \cdot t_{XX} = g_{XX} \cdot t_{XX} \cdot (1 + K_1),$$

где  $K_1 = g_T \cdot t_T / g_{XX} \cdot t_{XX}$ .

Таблица 1. Значение времени, через которое последовательно включается очередная позиция контроллера машиниста

№ позиции контроллера машиниста	Время действия режима позиции, $\tau$ , с	Частота оборотов коленвала, $n$ , мин <sup>-1</sup>
0	53,8	330
1	6,22	350
2	18,92	380
3	19,28	410
0	46,88	330
1	4,22	350
2	22,92	380
3	18,28	410
4	15,77	460
0	49,89	330
1	5,23	350
2	18,91	380
3	19,28	410
0	48,88	330
1	5,22	350
2	18,92	380
3	19,29	410
4	14,77	460
5	8,68	510
0	48,88	330
1	6,22	350
2	17,91	380
3	20,29	410
4	13,77	460
5	8,69	510
0	51,89	330
1	5,23	350
2	17,92	380
3	19,08	410
4	13,77	460
5	9,69	510
6	7,92	560
7	1,98	660
8	1,32	750
ИТОГО	659,92	-

Для реализации расчетного метода необходимо наличие компьютерной модели системы управления дизель – генератором, которая позволила бы осуществить моделирование процессов управления частотой и нагрузением дизель–генератора элек-

тронной системой управления (электронным регулятором) и обычным гидромеханическим регулятором в условном эксплуатационном цикле. На основании сравнения можно будет сделать вывод о степени влияния электронного регулятора на снижение расхода топлива. Такая компьютерная модель разработана и подтвердила свою работоспособность при исследовании влияния регулирующих параметров электронного регулятора на топливную экономичность работы тепловозного дизель – генератора в переходных процессах [3].

Анализируя выражение (3), можно отметить, что если ДГ МТ оборудован гидромеханической системой управления, то параметр  $t_{XX}$  может изменяться как машинистом, который на свое усмотрение определяет время работы тепловоза на холостом ходу, так и при помощи системы, подобной системе “старт–стоп” в автомобилях [5].

В ДГ МТ с электронной системой управления можно влиять на снижение параметров  $g_T$  и  $g_{XX}$ .

Для дальнейшего анализа введем следующие коэффициенты:

$K_{tx}$  - коэффициент снижения времени холостого хода,  $\leq 1$ ;

$K_{gx}$  - коэффициент снижения расхода топлива на холостой ход,  $\leq 1$ ;

$K_{gt}$  - коэффициент снижения расхода топлива на тягу,  $\leq 1$ .

Минимальное значение коэффициентов определяется на основе требований эксплуатационной работы маневрового тепловоза, технического состояния тепловозного дизель–генератора.

Получим выражения, которые позволят оценить влияние на снижение расхода топлива трех факторов: уменьшение времени  $t_{XX}$ , снижение расходов топлива  $g_{XX}$  и  $g_T$ .

В относительной форме выражение для снижения расхода топлива от уменьшения времени  $t_{XX}$  имеет вид:

$$\Delta_{t_x}, \% = \frac{g_{XX} \cdot t_{XX} \cdot (1 + K_1) - g_{XX} \cdot t_{XX} \cdot (K_{tx} + K_1)}{g_{XX} \cdot t_{XX} \cdot (1 + K_1)} \cdot 100$$

или после преобразования

$$\Delta_{t_x}, \% = \frac{1 - K_{tx}}{1 + K_1} \cdot 100. \quad (4)$$

Выражение для уменьшения расхода топлива в случае снижения  $g_{XX}$  сразу представим в преобразованной форме:

$$\Delta_{g_x}, \% = \frac{1 - K_{gx}}{1 + K_1} \cdot 100. \quad (5)$$

Из полученных выражений следует, что степень снижения  $t_{xx}$  и снижения  $g_{xx}$  имеют одинаковое влияние на конечное снижение расхода топлива при работе на холостом ходу.

Случай одновременного влияния на расход топлива уменьшения  $g_{xx}$  и  $t_{xx}$  можно отразить приведенным выражением:

$$\Delta_{xx}, \% = \frac{1 - K_{gx} \cdot K_{tx}}{1 + K_1} \cdot 100. \quad (6)$$

Сократить время выполнения тяговой (полезной) работы не представляется возможным, однако можно получить выражения в относительной форме, позволяющие проанализировать влияние на уменьшение расхода топлива снижения величины  $g_T$ .

В относительной форме выражение для снижения расхода от уменьшения  $g_T$  имеет вид:

$$\Delta_{g_T}, \% = \frac{g_{xx} t_{xx} (1 + K_1) - g_{xx} t_{xx} (1 + K_1 K_{gx})}{g_{xx} t_{xx} (1 + K_1)} \cdot 100\%$$

или в преобразованной форме:

$$\Delta_{g_T}, \% = \frac{K_1 (1 - K_{gx})}{1 + K_1} \cdot 100. \quad (7)$$

Полученные выражения (4) – (6) и (7) позволяют в относительной форме оценить влияние рассматриваемых в настоящей работе факторов на снижение расхода топлива ДГ МТ в эксплуатации. Использование компьютерной модели, приведенной в [3], позволило определить величину  $K_1$ , т.е.

соотношение затрат топлива холостого хода и режимов тяги в условном эксплуатационном цикле, который показан на рис.1. Это соотношение составило величину 1,2. Так как эксплуатационный цикл демонстрирует технологически обоснованные затраты времени (и топлива) на холостой ход и тягу в процессе реальной маневровой работы, то величину  $K_1$  выбирать больше чем 1,2 не имеет практического смысла. Поэтому для исследований выбраны значения  $K_1 = 1,0$  и  $K_1 = 0,8$ , т.е. доля холостого хода больше технологически необходимых значений.

В таблице 2 приведен числовой материал исследований по выражениям (4) и (5).

В таблице 3 приведен числовой материал исследований по выражению (6).

В таблице 4 приведен числовой материал исследований по выражению (7).

Таблица 2. Зависимость  $\Delta_{g_x}$  и  $\Delta_{t_x}$  от  $K_{gx}$ ,  $K_{tx}$  и  $K_1$

$K_{gx}, K_{tx}$	$\Delta_{g_x}, \Delta_{t_x}, \%$	
	$K_1=1,0$	$K_1=0,8$
0,99	0,5	0,55
0,98	1,0	1,1
0,97	1,5	1,67
0,96	2,0	2,22
0,95	2,5	2,78

Таблица 3. Зависимость  $\Delta_{xx}$  от  $K_{gx}$ ,  $K_{tx}$  и  $K_1$

$K_{tx}$	$\Delta_{xx}, \%$									
	$K_{gx}, K_1=1,0$					$K_{gx}, K_1=0,8$				
	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95
0,99	1,0	1,5	2,0	2,48	2,98	1,1	1,66	2,2	2,76	3,3
0,98	1,5	1,98	2,47	2,96	3,45	1,66	2,2	2,76	3,3	3,83
0,97	1,98	2,47	2,96	3,44	3,92	2,2	2,76	3,3	3,83	4,36
0,96	2,48	2,96	3,44	3,92	4,4	2,76	3,3	3,83	4,36	4,89
0,95	2,98	3,44	3,92	4,4	4,88	3,3	3,83	4,36	4,89	5,42

Таблица 4. Зависимость  $\Delta_{g_T}$  от  $K_{g_T}$  и  $K_1$

$K_{g_T}$	$\Delta_{g_T}, \%$	
	$K_1=1,0$	$K_1=0,8$
0,99	0,5	0,44
0,98	1,0	0,89
0,97	1,5	1,33
0,96	2,0	1,78
0,95	2,5	2,2

Из числового материала таблиц 2 – 4 следует, что снижение значения  $K_1$  с 1,0 до 0,8 (т.е. на 20 %) приводит к увеличению процента экономии топлива за счет составляющих  $K_{gx}$  и  $K_{tx}$  примерно на 10 % и к снижению экономии топлива за счет составляющей  $K_{g_T}$  примерно на 11 %. Необходимо отметить, что снижение общего расхода топлива при маневровой работе за счет уменьшения  $g_T$  и  $g_{xx}$  обеспечивается за счет внедрения технических мероприятий (электронных систем управления), а

сниження за счет уменьшения  $t_{xx}$  реализуется за счет организационных мероприятий или применения системы, подобной системе «старт–стоп» в автомобиле. При этом необходимо учитывать, что технологически обоснованное время холостого хода не может быть меньше, чем 50 – 60 с.

#### Заключення

Представленные в материалах статьи простые выражения позволяют без проведения очень затратного по времени и материальным ресурсам экспериментального исследования оценить в относительной форме степень влияния на снижение эксплуатационного расхода топлива ДГ МТ различных организационных и технических мероприятий, направленных на совершенствование управления эксплуатационной работой.

Полученные результаты могут быть использованы при обосновании применения различных технических систем контроля и управления на ДГ МТ.

#### Список литературы:

1. О.Б. Богаевський. Показники оцінки ефективності енергозбереження тепловозного дизель – генератора / О.Б. Богаевський, А.М. Борисенко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2012. - № 2. – С. 125 - 128. 2. А.Б. Богаевский. Теоретическая оценка повышения топливной экономичности тепловозных дизель-генераторов за счет внедрения электронных средств управления / А.Б. Богаевский, А.Н. Борисенко // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 132. – С. 47 – 51. 3. А.Б. Богаевский. Компьютерная модель мощного транспортного дизель-генератора с электронной системой управления./ А.Б. Богаевский.// Открытые информационные и компьютерные интегральные технологии. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», вып. 38, 2008. – с. 150 – 169. 4. Моделирование переходных процессов тепловозного дизеля в эксплуатационном цикле с целью восстановления шляхів зниження витрат палива. // Н.-тех. звіт. № 0199U003102, Харків, ХарДАЗТ, 2001. – 96 с. 5. К.В. Назаренко. Сокращение холостого хода как точка роста прибыльности железных дорог. / Назаренко К.В.// Локомотив-информ. – Харьков: Подвижной состав, № 9 (75), 2012. - с. 46 – 50.

#### Bibliography (transliterated):

1. Bogaevsky O.B. Performance evaluation of energy efficiency diesels - generator / Bogaevsky O.B., Borisenko A.N.. Internal combustion engines. - 2012. - № 2. - S. 125 - 128. 2. Bogaevsky A.B. Theoretical estimation of improving fuel efficiency of diesel diesel generators through the introduction of e-governance / Bogaevsky A.B.; Borisenko A.N. Proceedings of the Ukrainian State Academy of the Railway Transport. - Kharkov: UkrDAZT, 2012. - Issue. 132. - S. 47 - 51. 3. A computer model of a powerful vehicle diesel generator with electronic control system. / Bogaevsky A.B.. // Open information and computer integrated technologies. - Kharkov: Nat. Aerospace. Univ "HAI" Vol. 38, 2008. - P. 150 – 169. 4. Simulation of transient processes diesel locomotive in the operational cycle to determine ways to reduce fuel consumption. // Sc.-tech. report. № 0199U003102, Kharkiv, HarDAZT, 2001. - 96 p. 5. Nazarenko K.V. Reducing idling as a point of growth in profitability of railways. / Nazarenko K.V. // Lokomotiv-Inform. - Kharkov: Rolling Stock, № 9 (75), 2012. - P. 46 - 50.

Поступила в редакцию 01.07.2013

**Богаевский Александр Борисович** – доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры автомобильной электроники Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, Харьков, Украина, e-mail: bogaevski@mail.ru.

**Борисенко Анатолий Николаевич** - доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теоретических основ электротехники Национального технического университета «ХПИ», Харьков, Украина, e-mail: bogaevski@mail.ru.

**Войтенко Максим Сергеевич** – научный сотрудник кафедры автоматизации и управления в технических системах Национального технического университета «ХПИ», Харьков, Украина, e-mail: m.s.voytenko@gmail.com.

#### ОЦІНКА МЖЛИВОСТІ ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЮВАННЯ КЕРУВАННЯ

*А.Б. Богаевський, О.М. Борисенко, М.С. Войтенко*

Запропоновано методику визначення у відносній формі оцінок зниження витрати палива дизель-генератора маневрового тепловоза при експлуатації в режимах холостого ходу й тяговій роботі, отримані числові величини оцінок впливу на зниження витрати палива технічних й організаційних заходів щодо вдосконалювання керування роботою дизель-генератора маневрового тепловоза.

#### THE EVALUATION OF REDUCING THE FUEL CONSUMPTION BY DIESEL GENERATOR AT SHUNTING LOCOMOTIVES THROUGH BETTER CONTROL

*A.B. Bogaevskiy, A.N. Borisenko, M.S. Voytenko*

The methods of determining the relative form in the estimates reduce fuel diesel - generator shunting locomotive when operating at idle mode and traction work is proposed, the numerical values for estimating the effect of reducing the fuel consumption of technical and organizational measures to improve the control of the diesel engine - generator shunting locomotive are obtained.

УДК 621.43