

Повышение топливной экономичности маневрового тепловоза при применении электронной системы управления впрыском топлива

И. А. КУЗНЕЦОВА, Е. Е. КОССОВ

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»),
Москва, 129626, Россия

Аннотация. Приведены результаты сравнительной оценки топливной экономичности тепловоза ЧМЭЗ в штатной комплектации и с установленной системой ЭСУВТ.02, полученные путем моделирования рабочих процессов силовой установки и вспомогательного оборудования маневровых тепловозов в режимах эксплуатации. Предложена методика оценки технико-экономических показателей работы тепловозов в эксплуатации, которая позволяет помимо расхода топлива оценить ряд других показателей.

Ключевые слова: маневровый тепловоз; маневровые операции; режимы работы; ЭСУВТ; топливная экономичность

Введение. При создании нового подвижного состава и при его модернизации важно предварительно правильно оценить его эксплуатационную эффективность в зависимости от внесенных технических усовершенствований. Это особенно важно, если меняется способ энергетического обеспечения тяги — например, применены гибридные локомотивы или две-три силовые установки вместо одной. Поэтому понятен интерес специалистов к вопросам оценки эффективности работы локомотивов в эксплуатационной работе [1, 2]. Наиболее часто для этих целей применяют метод статистического анализа режимов работы в условиях эксплуатации, когда суммируется время работы на отдельных режимах, а затем по заводским характеристикам тепловоза или по характеристикам, полученным в результате паспортных испытаний в стационарных режимах, оценивают показатели работы в эксплуатации [3, 4].

Такой подход приемлем для предварительной оценки показателей работы тепловоза при разработке технических требований на локомотив, предназначенный для определенного вида поездной работы. Однако при этом невозможно оценить влияние фактических временных процессов в силовой установке [5] на технико-экономические показатели работы локомотива в эксплуатации, особенно это касается маневровых локомотивов, у которых число изменений режимов работы может достигать более 200 в час.

Предпринимались попытки исправить это положение, для чего включали в расчет показателей работы некоторые коэффициенты [6, 7]. Однако выбор таких коэффициентов довольно сложен. Приходится прибегать к эмпирическим методам, например к сравнению расчетных по режиму эксплуатации показателей с экспериментальными данными, полученными при стендовых испытаниях локомотива на тех же режимах. Оценка показателей проектируемого локомотива таким путем невозможна. Сегодня существует другой подход к решению этой проблемы. Имея достаточно подробную математическую модель для расчета показателей работы нового локомотива, включающую процессы реализации тяги, процессы в электропередаче, в силовой установке и т. д., можно моделировать реальные процессы, происходящие в локомотиве при выполнении поездной операции на заданном реальном участке пути. Современная вычислительная техника позволяет моделировать процессы, происходящие в локомотиве, при перемещении его по любому реальному профилю практически неограниченной протяженности. Имеются примеры применения такого подхода [8, 9]. Недостатком этого метода является определенная ограниченность выводов, связанная с конкретными особенностями участка.

Методика и ее практическое применение. Для того чтобы можно было применять математическое моделирование процессов в силовой установке и агрегатах локомотива при оценке его технико-экономических показателей работы в эксплуатации, нами предложен новый подход к решению этой проблемы [10, 11, 12]. Представим процесс эксплуатации как сумму случайных единичных режимов, в которых процессы в силовой установке могут быть смоделированы с любой степенью точности. Суммирование показателей работы в единичных режимах в соответствии с характеристиками случайных процессов позволяет получить общую оценку технико-экономических показателей работы локомотива в эксплуатации. При сравнительной оценке локомотивов с разными конструктивными решениями

■ E-mail: irina-k3@yandex.ru (И. А. Кузнецова)

Таблица 1

Характеристики дизеля K6S310DR тепловоза ЧМЭЗ в штатной комплектации и оборудованного системой ЭСУВТ.02

Table 1

Characteristics of K6S310DR engine of diesel locomotive ChME3 in operating set of equipment and equipped with ESUVT. 02 system

Наименование	Штатная комплектация										Комплектация с ЭСУВТ.02									
	Позиции контроллера машиниста										Позиции контроллера машиниста									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	0	1	2	3	4	5	6	7	8		
Частота вращения коленчатого вала дизеля, об/мин	360	360	380	410	460	510	580	660	765	280	350	380	420	460	510	580	660	750		
Мощность тягового генератора, кВт	0	18	105	190	283	406,6	527	696	931,6	0	31	94	186	270	436,5	549	696,6	870,6		
Расход топлива, кг/ч	10	14,6	35,7	55,0	78,5	101,9	137,2	186,2	255,1	6,5	14,9	28,9	46,6	67,5	102,1	141,9	181,8	227,3		
Удельный расход топлива, кг/кВт·ч	—	0,814	0,341	0,289	0,277	0,269	0,260	0,267	0,273	—	0,480	0,308	0,251	0,250	0,251	0,258	0,262	0,261		
Давление наддува, кПа	103,3	103,3	103,3	104,3	106,3	114,3	123,3	137,3	157,3	103,3	103,3	103,3	104,3	106,3	114,3	123,3	137,3	157,3		
Мощность индикаторная, кВт	38	85	180	287	417	545	729	985	1331	28	72	147,4	246	361	552	757	964	1186		
Мощность механических потерь, кВт	38	38	43	47	70	103	128	181	247	28	38	43	47	70	103	128	181	247		
Индикаторный КПД	0,330	0,400	0,425	0,44	0,448	0,451	0,448	0,446	0,440	0,363	0,407	0,430	0,445	0,451	0,456	0,450	0,447	0,440		

набор единичных режимов и характеристики случайных процессов могут быть приняты одинаковыми.

Ниже приведен пример применения разработанной методики для сравнительной оценки технико-экономических показателей работы тепловоза ЧМЭЗ в штатной комплектации и оборудованного электронной системой управления впрыском топлива (ЭСУВТ.02), созданной ООО «ППП Дизельавтоматика» (г. Саратов) [13].

Исходные данные для сравнительных расчетов процессов в дизеле тепловоза ЧМЭЗ в штатной комплектации и оборудованного системой ЭСУВТ.02 приведены в табл. 1.

Данные табл. 1 отражают изменения, заложенные в характеристики силовой установки тепловоза ЧМЭЗ при установке системы ЭСУВТ.02.

Приведем лишь некоторые функции системы:

- автоматическое поддержание заданной частоты вращения коленчатого вала дизеля;
- автоматическое регулирование мощности электрической передачи тепловоза в переходных режимах;
- реализация режима пониженной частоты вращения коленчатого вала дизеля на холостом ходу;
- ограничение величины подачи топлива и нагрузки тягового генератора в зависимости от давления наддувочного воздуха [14].

Таблица 2

Элементарные режимы работы автономного маневрового локомотива в зависимости от случайных величин

Table 2

Basic modes of operation of autonomous shunting locomotive, depending on the random values

Случайные величины	Режимы работы локомотива R_k			
	Холостой ход R_x	Разгон R_p	Движение с постоянной скоростью R_d	Торможение R_t
Вес состава Q_j	$R_{xM(Q)}$	$R_{p(Q)}$	$R_{dM(Q)}$	$R_{tM(Q)}$
Длина пути L_j	$R_{xM(L)}$	$R_{pM(L)}$	$R_{dM(L)}$	$R_{tM(L)}$
Скорость движения состава v_j	$R_{xM(v)}$	$R_{pM(v)}$	$R_{dM(v)}$	$R_{tM(v)}$
Уклон пути I_j	$R_{xM(I)}$	$R_{pM(I)}$	$R_{dM(I)}$	$R_{tM(I)}$
...	...	...	...	...
Показатель ξ_j	$R_{xM(\xi)}$	$R_{pM(\xi)}$	$R_{dM(\xi)}$	$R_{tM(\xi)}$

Примечание. $M(Q)$, $M(L)$, $M(v)$, $M(I)$, $M(\xi)$ — математическое ожидание случайной величины, соответственно Q , L , v , I , ξ .

Все это существенно влияет на полученные характеристики.

При сравнении эксплуатационной экономичности тепловозов определялись показатели их работы при выполнении основных маневровых операций.

Маневровая работа локомотива:

- горочная работа;
- производство сортировки вагонов на станциях, не оборудованных горками (расформирование-формирование поездов методом осаживания с использованием вытяжного пути);
- технологическая операция (подача-уборка составов или вагонов к месту погрузки-выгрузки, к месту отстоя, на мойку, перестановка и т. п.);
- одиночное следование маневрового локомотива (выход из депо, заход в депо и др.);
- работа на путях промышленных предприятий, складских комплексов и прочие работы.

В соответствии с [10] каждую операцию при выполнении маневровой работы локомотивом O_j можно представить в виде

$$O_j = \sum_{i>1}^n \sum_{k>1}^m R_{kj}, \quad (1)$$

где R_{kj} — единичный режим работы автономного маневрового локомотива (холостой ход, разгон, движение с постоянной скоростью, движение по инерции, торможение и др.); n — количество единичных режимов в поездной операции; m — стохастические характеристики единичных режимов; $k_j = x, p, d, t$ — варьируемые показатели (холостой ход, разгон, движение с постоянной скоростью, торможение); j — количество типовых единичных режимов.

Режимы работы маневрового локомотива представлены в виде суммы ограниченного числа характерных единичных режимов, приведенных в табл. 2, которые включают случайные распределения характерных показателей: длины пути L , скорости движения состава v , веса состава Q , величины уклона пути I и т. п.

Из определенного множества выделен некоторый набор основных характерных элементарных режимов, выполнены тяговые расчеты для типичных маневровых операций, отображающих реальные условия эксплуатации локомотивов.

При исследовании рассматривались единичные режимы:

- разгон при надвиге на сортировочную горку $R_{pj\ n-r}$, движение с постоянной скоростью при надвиге $R_{dj\ n-r}$ и роспуске $R_{dj\ p-r}$ с сортировочной горки, торможение при роспуске составов с сортировочной горки $R_{ij\ r}$, работа на холостом ходу R_{xj} ;
- разгон до заданной скорости при максимальном быстродействии R_{pj} , разгон до заданной скорости на заданной позиции $R_{pj\ n}$, движение с постоянной скоростью

Таблица 3
Величины расхода топлива тепловозом ЧМЭЗ при выполнении поездок в штатной комплектации и с системой ЭСУВТ.02

Table 3

The values of fuel consumption of ChME3 locomotive when performing trips with operating set of equipment and with ESUVT. 02 system

№ п/п	Маневровая операция	Количество вагонов m , ед.	Время T , с	Расход топлива B , кг	
				Штатная комплектация	Комплектация с ЭСУВТ.02
1	Горочная работа	30	941,2	18,4	16,6
		40	1064,2	22,6	20,6
2	Расформирование-формирование поездов методом осаживания с использованием вытяжного пути	5	780,4	9,4	7,7
		10	816,4	11,5	9,7
		20	1377,2	23,5	20,3
		30	1956,0	39,8	35,2
		40	2525,2	60,6	54,4
3	Технологические операции	30	438,4	10,0	8,9
		40	433,6	12,2	11,1
		50	455,2	14,4	13,1
		60	476,8	16,6	15,0
4	Работа на путях промышленных предприятий	5	363,6	5,2	4,5
		10	381,6	6,3	5,4
5	Одиночное следование маневрового локомотива	0	129,2	2,3	2,1
		0	162,8	2,4	2,3
		0	198,2	2,6	2,5
		0	235,2	2,8	2,6

стью R_{dj} , торможение R_{ij} , торможение и приближение к вагонам $R_{ij\ n}$.

Характеристики единичных режимов меняются в зависимости от варьирования случайных величин скорости, длины пути, веса состава, уклона, температуры окружающей среды и других факторов.

При сравнении экономичности тепловоза ЧМЭЗ в штатной комплектации и оборудованного системой ЭСУВТ.02 скорости движения варьировались с учетом ограничений, установленных ИДП (Инструкция по движению поездов и маневровой работе на железнодорожном транспорте Российской Федерации). Время работы тепловоза в режиме холостого хода принималось в соответствии с данными, приведенными в [15], количество вагонов в составе варьировалось от 0 до 60.

Показатели выполнения работы тепловозом рассчитывались с использованием формул, приведенных в работах [11, 12].

Результаты. Результаты расчетов, проведенных с учетом установки системы ЭСУВТ.02 на тепловозе, сопоставлены с данными эксплуатационных

Таблица 4

Результаты сравнения расхода топлива у тепловоза ЧМЭЗ в штатной комплектации и с системой ЭСУВТ.02

Table 4

The results of comparison of fuel consumption in diesel locomotive ChME3 in operating set of equipment and with ESUVT. 02 system

№ п/п	Маневровая операция	Экономия топлива при стоянках, %	Экономия топлива в целом по операции, %
1	Горочная работа	34,2	8,9
2	Расформирование-формирование поездов методом осаживания с использованием вытяжного пути	34,4	11,2
3	Технологические операции	33,8	9,8
4	Работа на путях промышленных предприятий	33,7	12,6
5	Одиночное следование маневрового локомотива	35,3	8,3

испытаний тепловоза ЧМЭЗ в штатной комплектации (без ЭСУВТ.02). В табл. 3 приведены расчетные величины расхода топлива.

При сравнении величин расхода топлива (см. табл. 3) очевидна более высокая экономическая эффективность тепловоза ЧМЭЗ, оборудованного системой ЭСУВТ.02, при выполнении различных видов маневровой работы.

Результаты расчетов приведены в табл. 4. Была применена процедура сглаживания колебаний расходов по методу взвешенной скользящей средней, учтена экономия топлива при стоянках.

По данным эксплуатационных испытаний экономия топлива при оборудовании тепловоза ЧМЭЗ системой ЭСУВТ.02 составила 8 – 11% [14], что хорошо согласуется с полученными нами результатами.

Выводы. 1. Выполненные расчеты показывают, что в эксплуатации тепловоз ЧМЭЗ, оборудованный электронной системой управления впрыском топлива (ЭСУВТ.02), позволяет экономить в среднем до 10,2% топлива, в том числе за счет снижения расхода топлива на холостом ходу.

2. Применение разработанной методики оценки технико-экономических показателей работы тепловозов в эксплуатации позволяет, помимо расхода топлива, оценить ряд других показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Игин В.Н. Анализ существующих методик нормирования дизельного топлива и рекомендации по их совершенствованию // Опыт организации работы по рациональному использованию топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов: материалы сетевой школы. 2002. С. 17 – 19.
- Сокращение расходов дизельного топлива на маневрах / В.М. Овчинников [и др.] // Транспортные системы и технологии перевозок: сборник научных работ Днепропетровского национального университета железнодорожного трансп. им. акад. В. Лазаряна. Днепропетровск: Научное издательство ДНУЖТ, 2011. Вып. 1. С. 62 – 70.
- Методика определения экономической эффективности маневровых и промышленных тепловозов. РТМ 24.040.016 – 81: официальное издание. М.: Министерство тяжелого и транспортного машиностроения, 1981. 194 с.

4. Методика тяговых расчетов для маневровой работы. ЦДЛ-21. М.: Транспорт, 1988. 132 с.

5. Механическая часть тягового подвижного состава: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / И.В. Бирюков [и др.]; под ред. И.В. Бирюкова. М.: Транспорт, 1992. 440 с.

6. Васильев В.Н. Эксплуатационная экономичность тепловозных дизелей с учетом переходных процессов // Вопросы конструкции, эксплуатации и ремонта тепловозов: сб. трудов МИИТ. М.: Транспорт, 1978. Вып. 611. С. 27 – 31.

7. Третьяков А.П., Васильев В.Н. Экономичность тепловозных дизелей и способы ее повышения // Электрическая и тепловозная тяга. 1968. № 4. С. 40 – 43.

8. Бобровский В.И., Демченко Е.Б. Совершенствование имитационной модели процесса надвига и роспуска составов на сортировочных горках // Транспортные системы и технологии перевозок. 2012. Вып. 3. С. 5 – 9.

9. Фалендиш А.П., Володарець М.В. Розробка моделі розрахунку техніко-економічних параметрів маневрового тепловозу із застосуванням гібридної тяги // Збірник наукових праць ДонІЗТ. 2010. № 23. С. 156 – 162.

10. Коссов Е.Е., Кузнецова И.А. К оценке эффективности работы маневрового локомотива путем моделирования режимов работы // Вестник транспорта Поволжья. 2014. № 4. С. 40 – 50.

11. Кузнецова И.А. Об имитации процесса разгона при надвиге состава на сортировочную горку // Транспорт АТР. 2015. № 1. С. 36 – 39.

12. Кузнецова И.А., Коссов Е.Е. О процессах расформирования составов с использованием сортировочной горки и их имитация // Мир транспорта. 2015. № 5. С. 146 – 153.

13. Кирьянов А.Н. Эффективность работы тепловозов с электронной системой управления впрыском топлива // Локомотив. 2014. № 1. С. 34 – 37.

14. Игин В.Н., Марков В.А., Фурман В.В. Эксплуатационные испытания тепловоза с электронной системой управления топливоподачей // Транспортное и энергетическое машиностроение. 2014. № 4. С. 25 – 37.

15. Система РПРТ тепловозов / А.Л. Донской [и др.] // Локомотив. 2006. № 7. С. 22 – 24.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КУЗНЕЦОВА Ирина Алексеевна, инженер 1-й категории, отделение «Тяговый подвижной состав», АО «ВНИИЖТ»

КОССОВ Евгений Евгеньевич, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, отделение «Тяговый подвижной состав», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 12.05.2016 г., актуализирована 27.09.2016 г., принята к публикации 2.10.2016 г.

Improving fuel efficiency of shunting diesel locomotive when applying electronic control system of fuel injection

I. A. KUZNETSOVA, E. E. KOSSOV

Joint Stock Company "Railway Research Institute" (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russia

Abstract. When creating a new rolling stock or during its modernization it is important preliminarily to properly assess its operational efficiency, depending on the technical improvements. Changing the way of energy supply of traction is very important—for example, hybrid engines or two/three power units is used instead of one. The article proposes a new approach to the problem of assessing the effectiveness of operational work of shunting locomotives.

Shunting operation is represented as the sum of random single modes, in which the processes in the power plant can be modeled with any degree of accuracy. Summation of performance indicators in individual modes according to the characteristics of random processes allows obtaining an overall assessment of technical and economic indicators of the locomotive in operation.

The paper shows results of comparative assessment of the fuel economy of a diesel locomotive ChME3 in operating set of equipment and with installed electronic fuel injection control system (ESUVT. 02), obtained by modeling the working processes of the power plant and auxiliary equipment shunting locomotives in operation modes.

Executed calculations show that in the operation of diesel locomotive ChME3 equipped with ESUVT. 02 system saves up to 10.2% of fuel, particularly by reducing fuel consumption at idle.

Application of a new methodology for assessing technical and economic indicators of locomotives in operation allows, in addition to fuel consumption, evaluating a number of other indicators.

Keywords: shunting locomotive; shunting operation; operation mode; electronic fuel injection control system (ESUVT); fuel efficiency

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-6-323-327>

REFERENCES

1. Igin V. N. *Analiz sushchestvuyushchikh metodik normirovaniya dizel'nogo topliva i rekomendatsii po ikh sovershenstvovaniyu* [Analysis of the existing valuation methods of diesel fuel and recommendations for their improvement]. Opyt organizatsii raboty po ratsional'nomu ispol'zovaniyu toplivno-energeticheskikh resursov na tyagu poezdov. Materialy setevoy shkoly [Experience in the organization of work for the rational use of energy resources for train traction. School materials of network]. Moscow, Transport Publ., 2002, pp. 17 – 19.
2. Ovchinnikov V. M., Pozhidaev S. A., Shvets N. G., Skrezhendevskiy V. V. *Sokrashchenie raskhodov dizel'nogo topliva na manevrak* [Reducing diesel fuel consumption on maneuvers]. Transportnye sistemy i tekhnologii perevozok. Sb. nauch. rabot Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhn. transp. im. akad. V. Lazaryana [Transport systems and transport technology. Coll. of sci. works of the Dnepropetrovsk National University of Railway. Transport n. a. Academician V. Lazaryan]. Dnepropetrovsk, Nauchnoe izdatel'stvo DNUZhT Publ., 2011, Vol. 1, pp. 62 – 70.
3. *Methods of determining economic efficiency of shunting and industrial locomotives*. 24.040.016 RTM – 81. Moscow, Ministerstvo tyazhelogo i transportnogo mashinostroeniya Publ., 1981, 194 p. (in Russ.).
4. *Methods of traction calculations for shunting operations*. TsDL-21. Moscow, Transport Publ., 1988, 132 p. (in Russ.).
5. Biryukov I. V., Savos'kin A. N., Burchak G. P. *Mekhanicheskaya chast' tyagovogo podvizhnogo sostava*. Ucheb. dlya vuzov zh. — d.

transp. [Mechanical traction rolling stock. Textbook for high schools of railway transport]. Moscow, Transport Publ., 1992, 440 p.

6. Vasil'ev V. N. *Ekspluatatsionnaya ekonomichnost' teplovoznnykh dizeley s uchetom perekhodnykh protsessov* [Operational efficiency of diesel engines based on transient processes]. Voprosy konstruktii, ekspluatatsii i remonta teplovoznov. Sb. trudov MIIT [Issues of construction, operation and repair of locomotives. Coll. of works of MIIT]. Moscow, Transport Publ., 1978, no. 611, pp. 27 – 31.

7. Tret'yakov A. P., Vasil'ev V. N. *Ekonomichnost' teplovoznnykh dizeley i sposoby ee povysheniya* [Efficiency of diesel engines and ways to improve it]. Elektricheskaya i teplovoznaya tyaga [Electric and diesel traction], 1968, no. 4, pp. 40 – 43.

8. Bobrovskiy V. I., Demchenko E. B. *Sovershenstvovanie imitatsionnoy modeli protsessa nadviga i rospuska sostavov na sortirovochnykh gorkakh* [Improving the simulation model of the humping process and the defragmentation of trains on the humps]. Transportnye sistemy i tekhnologii perevozok [Transport systems and transportation technologies], 2012, no. 3, pp. 5 – 9.

9. Falendish A. P., Volodarets' M. V. *Rozrobka modeli rozrakhunku tekhniko-ekonomichnikh parametriv manevrovogo teplovozu iz zastosuvanniyam gibridnoi tyagi*. Zbirnik naukovikh prats' DonIZ, 2010, no. 23, pp. 156 – 162 (in Ukr.).

10. Kossov E. E., Kuznetsova I. A. *K otsenke effektivnosti raboty manevrovogo lokomotiva putem modelirovaniya rezhimov raboty* [On assessing the performance of shunting locomotive by simulation modes]. Vestnik transporta Povolzh'ya, 2014, no. 4, pp. 40 – 50.

11. Kuznetsova I. A. *Ob imitatsii protsessa razgona pri nadvige sostava na sortirovochnuyu gorku* [On the simulation of acceleration process when humping the train on the hump]. Transport ATR, 2015, no. 1, pp. 36 – 39.

12. Kossov E. E., Kuznetsova I. A. *O protsessakh rasformirovaniya sostavov s ispol'zovaniem sortirovochnoy gorki i ikh imitatsiya* [On the processes of defragmentation of trains using a hump yard and its imitation]. Mir transporta [World of transport], 2015, no. 5, pp. 146 – 153.

13. Kir'yanov A. N. *Effektivnost' raboty teplovoznov s elektronnoy sistemoy upravleniya vpryskom topliva* [The efficiency of the diesel locomotives with electronic fuel injection control system]. Lokomotiv, 2014, no. 1, pp. 34 – 37.

14. Igin V. N., Markov V. A., Furman V. V. *Ekspluatatsionnye ispytaniya teplovoza s elektronnoy sistemoy upravleniya toplivopodachey* [Performance tests of the locomotive with electronic fuel supply control system]. Transportnoe i energeticheskoe mashinostroenie [Transport and power engineering], 2014, no. 4, pp. 25 – 37.

15. Donskoy A. L., Nazarov I. V. *Sistema RPRT teplovoznov* [RPRT system of diesel locomotives]. Lokomotiv, 2006, no. 7, pp. 22 – 24.

ABOUT THE AUTHORS

KUZNETSOVA Irina Alekseevna,

1st Category Engineer, Department "Traction Rolling Stock", JSC "VNIIZhT"

KOSSOV Evgeniy Evgen'evich,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, Department "Traction Rolling Stock", JSC "VNIIZhT"

Received 12.05.2016

Revised 27.09.2016

Accepted 2.10.2016

■ E-mail: irina-k3@yandex.ru (I. A. Kuznetsova)