

A DYNAMIC MODEL OF A BULLDOZER WITH A SEMI-RIGID SUSPENSION

I. V. Lazuta, E. F. Lazuta

Abstract. This article provides a mathematical description of a complex dynamic system of a bulldozer with a semi-rigid frame's suspension. The authors have proposed a mathematical model that consists of geometric relations' equations of the machine elements and differential equations of moving machine frame and operating device under external kinematic and dynamic impacts. The considerable attention in the presented mathematical model is paid to the dependencies between varieties of machine's structural parameters.

Keywords: dynamics, mathematical model, bulldozer, semi-rigid suspension, differential equation, kinematic connection.

References

1. Lazuta I. V. *Avtomatizatsiya proektirovaniya osnovnykh parametrov ustroystva upravleniya rabochim organom bul'dozernogo agregata* [Computer-aided engineering of basic parameters of the unit controlling operating device of a bulldozer]. Omsk, SibADI Publ., 2012. 128 p.
2. Bolotov A. K., Sudnitsyn V. I., Loparev A. A. *Konstruktsiya traktorov i avtomobiley* [The structure of tractors and automobiles]. Moscow, Kolos Publ., 2006. 352 p.
3. Gavrilov K. L., Zabara N. A. *Dorozhno-stroitel'nye mashiny inostrannogo i otechestvennogo proizvodstva: ustroystvo, diagnostika i remont* [Road construction machinery of foreign and domestic production: device, diagnostics and repair]. Moscow, Mayor Publ., 2006. 480 p.
4. Kutkov G. M. *Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskie svoystva* [Tractors and automobiles. The theory and technological properties]. Moscow, Infra-M Publ., 2014. 506 p.
5. Chelyabinskii traktornyj zavod «ChTZ-URALTRAK» [Chelyabinsk Tractor Plant "ChTZ-

Uraltrak"]. URL: <http://chitz-uraltrak.ru/> (accessed: 19.10.2014).

6. Kuzin E. N. *Povyshenie effektivnosti zemleroynykh mashin nepreryvnogo deystviya na osnove uvelicheniya tochnosti pozitsionirovaniya rabocheho organa*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Improving the efficiency of continuously working earthmoving machines on the basis of increasing the accuracy of positioning operating device]. Moscow, VNII Stroydormash Publ., 1984. 446 p.

7. Dementiev Y. V., Shchetinin Y.S. *SAPR v avtomobile- i traktorstroenii* [CAD system in the motorcar and tractor building]. Moscow, Akademiya Publ., 2004. 224 p.

8. Shcherbakov V. S. *Sostavlenie strukturnykh skhem zemleroyno-transportnykh mashin kak ob'ektov avtomatizatsii* [Structural charting of earthmoving machines as automation's objects]. Omsk, SibADI Publ., 2001. 47 p.

Лазута Иван Васильевич (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: livne@mail.ru)

Лазута Екатерина Федоровна (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: denisova_ef@mail.ru)

Lazuta Ivan Vasilievich (Omsk, Russian Federation) – candidate of technical sciences, associate professor of the department "Automation of industrial processes and electrical engineering", of the Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI) (644080, Russia, Omsk, Mira st., 5, e-mail: livne@mail.ru)

Lazuta Ekaterina Fedorovna (Omsk, Russian Federation) – candidate of technical sciences, associate professor of the department "Mechanics", of the Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI) (644080, Russia, Omsk, Mira st., 5, e-mail: denisova_ef@mail.ru)

УДК 629.424.1

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ДИЗЕЛЬНЫХ ЛОКОМОТИВОВ НА ЗАДАННОМ УЧАСТКЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ

В. А. Михеев

Омский государственный университет путей сообщения «ОмГУПС», Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье показана возможность применения математического моделирования для формирования режимов работы тепловозов и оценки эксплуатационной экономичности дизельной энергетической установки для заданного участка обращения и ожидаемых условий эксплуатации с учетом индивидуальных тягово-энергетических и экономических характеристик локомотивов. Приводятся результаты моделирования распределения времени эксплуатационной работы дизель-генераторной установки тепловоза по позициям контроллера машиниста и ее эксплуатационной экономичности для принятого участка обращения и ожидаемых условий эксплуатации.

Ключевые слова: дизельный локомотив, тяговые расчеты, эксплуатационная экономичность.

Введение

Программа реформирования железнодорожного транспорта связана с разработкой и реализацией комплекса мер, направленных на повышение эффективности использования локомотивного парка. Повышение эксплуатационной эффективности дизельного подвижного состава неразрывно связано с совершенствованием системы технического обслуживания и ремонта. В последнее время отчетливо наметилась тенденция перехода к системе ремонта подвижного состава по состоянию, реализация которой во многом определяется уровнем информационного сопровождения процессов эксплуатации, ремонта, технического контроля и диагностирования.

Показатели эксплуатационной экономичности тепловозов, являются косвенными при оценке технического состояния эксплуатируемого парка. Тем не менее, формирование базы данных по эксплуатируемому парку депо и ее обработка по соответствующим алгоритмам может служить существенной дополнительной информацией при формировании системы ремонта дизельного подвижного состава по состоянию.

В основу математической модели оценки эксплуатационной экономичности дизельных локомотивов положена статистико-аналитическая методика [1 – 2], позволяющая рассчитать величину удельного расхода топлива на технологический процесс перевозки грузов с учетом реальных условий эксплуатации на заданном участке обслуживания. При разработке математической модели использованы основные положения теории локомотивной тяги и результаты экспериментальных исследований режимов работы магистральных тепловозов в грузовом движении.

Формирование режимов работы и оценка экономичности локомотива

Для прогнозирования экономических характеристик дизель-генераторной установки тепловоза в ожидаемых условиях эксплуатации на начальном этапе расчета определяется распределение времени ее эксплуатационной работы по позициям контроллера машиниста.

Принимается, что распределение времени работы дизель-генераторной установки по позициям контроллера машиниста зависит от продолжительности использования тепловоза на каждом из эксплуатационных режимов за время поездки [3]:

$$t_n = t_{дв} + t_{всп}, \quad (1)$$

где $t_{дв}$ – время работы тепловоза в режиме тяги и выбега при движении поезда по участку с постоянной скоростью; $t_{всп}$ – вспомогательное время работы тепловоза, затраченное на режим простоя тепловоза в горячем состоянии, на разгоны и замедления поезда, на переходные процессы, поддерживающие установленную скорость движения.

Время работы тепловоза в режиме тяги и выбега при движении поезда по участку обращения определяется по выражению:

$$t_{дв} = \sum_{i=0}^{n_{пк}} t_{двi} = \sum_{i=0}^{n_{пк}} \sum_{j=1}^j t_{двij}, \quad (2)$$

где $t_{двi}$ – время работы тепловоза на i -ой позиции контроллера машиниста; $t_{двij} = S_j/V_j$ – время движения тепловоза на i -й позиции контроллера машиниста по j -у элементу профиля пути; S_j – длина j -го элемента профиля пути; V_j – установленная скорость движения поезда на j -м элементе профиля пути; $n_{пк}$ – количество позиций контроллера машиниста.

Время движения тепловоза с постоянной скоростью на i -й позиции контроллера машиниста по каждому j -у элементу участка пути определяется из условия равновесия удельных сил, действующих на поезд в режиме тяги и выбега. Величина требуемой касательной силы тяги локомотива (F_{kj}) и соответствующая i -я позиция контроллера машиниста (Π_{kj}), обеспечивающая равномерное движение поезда на каждом j -м элементе профиля пути с учетом заданных скоростей движения, веса и структуры поезда, находятся из условия $f(V) = F_{kj} - W_j = \text{const}$ [4].

Тяговые расчеты с использованием метода равномерных скоростей выполняются приближенным способом, основанным на предположении, что поезд на каждом элементе спрямленного профиля пути движется с постоянной скоростью, при переходе поезда с одного элемента на другой скорость меняется мгновенно [5].

Поскольку математической моделью предусмотрено выполнение тяговых расчетов аналитическим методом решения уравнения движения поезда с использованием ПЭВМ возникает необходимость преобразования графической зависимости силы тяги тепловоза в форму, удобную для

использования на ПЭВМ [6]. Паспортные тяговые характеристики тепловозов представляются в виде гиперболических зависимостей, полученных методами математической статистики.

По значению мощности дизель-генераторной установки на номинальном режиме для всех позиций контроллера машиниста в диапазоне скорости движения от начальной до конструкционной рассчитывается сила тяги тепловоза с определенным шагом с использованием следующего выражения, кН:

$$F_k = 19108 \frac{60 \pi P_{\text{ген}} (0,0247 + 0,0412 P_k + 0,0016 P_k^2) \eta_{\text{мгд}} \eta_{\text{мпр}}}{1045V}, \quad (3)$$

На тяговые характеристики тепловоза наносятся ограничения по максимальной касательной силе тяги, по конструкционной скорости движения и по расчетной касательной силе тяги, соответствующей расчетной скорости движения тепловоза. Величина максимальной касательной силы тяги определяется по формуле, кН:

$$F_{\text{сч}} = 1000 P_{\text{сч}} \left(0,0247 + 0,0412 P_{\text{сч}} + 0,0016 P_{\text{сч}}^2 \right) \left(0,118 + \frac{5}{27,5 + V} \right) \quad (4)$$

где $P_{\text{сч}}$ – сцепной вес тепловоза.

Принятый способ определения времени движения тепловоза с поездом по участку при условии постоянства скорости не учитывает времени, затраченного на простой, на разгоны и замедления, на переходные процессы. Распределение времени работы тепловоза в переходных режимах, в режиме разгона и замедления поезда, в режиме стоянок на путях станций депо принимается в соответствии с вероятностным законом

распределения времени работы поездных локомотивов в грузовом движении [7].

Вспомогательное время работы дизель-генераторной установки тепловоза по позициям контроллера машиниста на указанных выше режимах рассчитывается с использованием распределения Пуассона:

$$P_i = 0,557 \frac{0,07^n}{n!} e^{-0,07} + 0,387 \frac{10^n}{n!} e^{-10}, \quad (5)$$

где n – позиция контроллера машиниста.

По результатам расчета формируется режимная карта ведения поезда тепловозом и распределение времени эксплуатационной работы дизель-генераторной установки по позициям контроллера машиниста.

Результаты модельных расчетов для принятых исходных данных представлены на рисунках 1 и 2. Для расчета принят участок обращения Т – В Свердловской железной дороги протяженностью 407 км, состоящий из 160 спрямленных элементов в четном и нечетном направлениях; минимальная скорость движения поезда по участку в четном и нечетном направлении составляет 35 км/ч, максимальная скорость – 80 км/ч; руководящий уклон в четном направлении составляет 4,8 ‰, в нечетном направлении – 4,1 ‰; вес состава, состоящего из четырехосных вагонов на подшипниках качения, в четном направлении – 49050 кН, в нечетном – 51012 кН; время поездки в четном и нечетном направлениях принято в соответствии с данными маршрутов машиниста – 10,2 ч и 9,7 ч соответственно; атмосферные условия – стандартные.

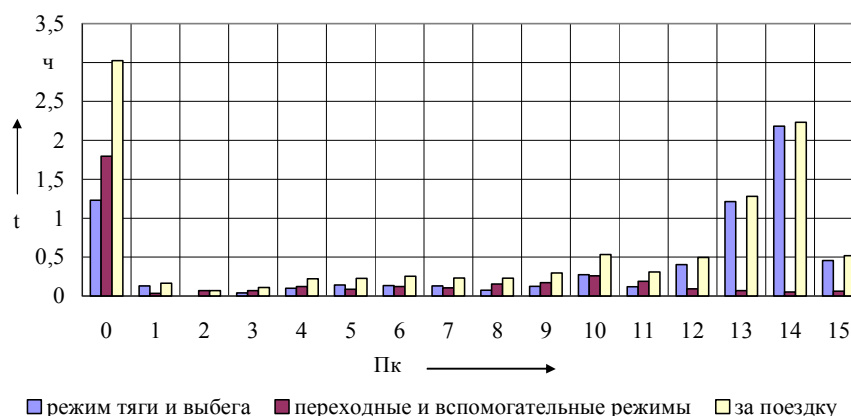


Рис. 1. Распределение времени работы по позициям контроллера в четном направлении

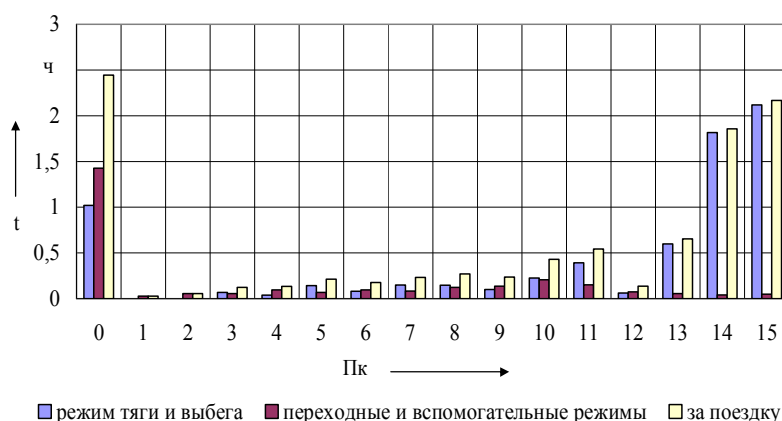


Рис. 2. Распределение времени работы по позициям контроллера в нечетном направлении

Используя сформированное распределение времени эксплуатационной работы дизель-генераторной установки тепловоза по позициям контроллера машиниста, определяется ее эксплуатационная экономичность для заданного участка обращения и ожидаемых условий эксплуатации.

Величина удельного расхода топлива на тягу оценивается величиной расхода топлива на измеритель работы (10^4 ткм):

$$q = \frac{10000 B_n}{Q_n L}, \quad (6)$$

где B_n – суммарный расход топлива тепловозом за поездку; L – протяженность участка обслуживания.

Суммарный расход топлива за поездку определяется как сумма расхода топлива при движении тепловоза в режиме тяги и выбега, торможения и вынужденных стоянок:

$$B_n = \sum_{i=0}^{n_{\text{пк}}} n_c N_{ei} b_{ei} (t_{\text{дв}i} + t_{\text{всп}i}), \quad (7)$$

где n_c – количество секций тепловоза; N_{ei} – эффективная мощность дизеля тепловоза на i -ой позиции контроллера машиниста; b_{ei} – удельный эффективный расход топлива дизеля тепловоза на i -ой позиции контроллера машиниста.

Значения мощности и удельного эффективного расхода топлива дизеля тепловоза на i -ой позиции контроллера

машиниста целесообразно определять с использованием относительных мощностей и экономических характеристик:

$$N_{ei} = N_{en} \Delta N_{ei} = N_{en} (0,00152 \Pi_{ki}^2 + 0,04256 \Pi_{ki} + 0,02042), \quad (8)$$

$$b_{ei} = b_{en} \Delta b_{ei} = b_{en} (0,01323 \Pi_{ki}^2 + 0,28405 \Pi_{ki} + 2,28405), \quad (9)$$

где N_{en} , b_{en} – соответственно эффективная мощность и удельный эффективный расход топлива дизеля тепловоза на номинальном режиме; ΔN_{ei} , Δb_{ei} – соответственно отношение мощности и удельного расхода топлива дизелем на i -ой позиции к номинальному значению.

Величина эффективной мощности и удельного эффективного расхода топлива дизелем определяется по данным последних реостатных испытаний тепловоза, предшествующих модельным расчетам.

Среднеэксплуатационный расход топлива дизель-генераторной установкой представляется отношением количества израсходованного топлива за поездку к выполненной дизелем работе:

$$b_g = \frac{B_n}{A} = \frac{B_n}{\sum_{i=0}^{n_{\text{пк}}} N_{ei} (t_{\text{дв}i} + t_{\text{всп}i})}, \quad (10)$$

где A – суммарная работа дизель-генераторной установки тепловоза, кВт·ч.

Результаты расчета для принятых исходных данных представлены в таблице 1 и на рисунках 3 и 4.

Таблица 1 – Показатели эксплуатационной экономичности на заданном участке обращения

Наименование параметра	Обозначение	Направление движения	
		Четное	Нечетное
Работа тепловоза, 10^4 ткм брутто	A_T	203,5	211,6
Работа дизель-генераторной установки, кВт·ч	A_{Σ}	22808,4	25145,9

Продолжение Таблицы 1

Расход топлива за поездку, кг	B_p	5288,8	6038,2
- в режиме тяги и выбега, кг	$B_{дв}$	4359,0	5299,6
- переходные и вспомогательные режимы, кг	$B_{пер}$	929,8	738,4
Удельный расход топлива, кг/(10 ⁴ ткм брутто)	q_p	25,98	28,54
Среднеэксплуатационная экономичность, кг/(кВт·ч)	$b_{э}^H$	0,464	0,480



Рис. 3. Распределение расхода топлива дизелем тепловоза за поездку по позициям контроллера в четном направлении



Рис. 4. Распределение расхода топлива дизелем тепловоза за поездку по позициям контроллера в нечетном направлении

При задании паспортных значений эффективной мощности и удельного эффективного расхода топлива энергетической установкой тепловоза определяются эталонные нормативные значения эксплуатационных экономических показателей:

$$B_{нэ} = B_{двэ} + B_{вспэ}; \quad q_{э} = \frac{10000 B_{нэ}}{Q_n L}; \quad b_{эо} = \frac{B_{нэ}}{A_э}, \quad (11)$$

сравнение которых с эксплуатационными показателями будет характеризовать техническое состояние эксплуатируемого локомотива.

Для практического использования в локомотивных депо описанной выше методики и реализующей ее математической модели разработана программа «Форм1». Программа предназначена для расчета величины удельного расхода топлива дизель-

генераторной установкой тепловоза при движении с составом от пункта отправления до пункта назначения с установленными на перегоне скоростями.

Заключение

Рассмотренная выше математическая модель позволяет прогнозировать эксплуатационные тяговые и экономические показатели дизельных локомотивов с учетом их индивидуальных технико-экономических характеристик, полученных при обработке контрольной и статистической информации.

Достоверность математической модели подтверждена сравнением результатов теоретических расчетов расхода топлива с эксплуатационными данными магистральных тепловозов на выбранном участке обращения, расхождение не превышает 7 %.

Библиографический список

1. Сковородников, Е. И. Разработка математической модели для формирования режимов работы и расхода топлива магистральных тепловозов / Е. И. Сковородников, А. В. Чулков, В. А. Михеев, С. И. Ахметов. // Омский научный вестник – 2009. - № 2 (80). – С. 143 – 146.
2. Сковородников, Е. И. Формирование режимных карт ведения поезда тепловозом на заданном участке эксплуатации / Е. И. Сковородников, В. А. Михеев, Ю. Б. Гришина. // Актуальные вопросы современной науки: сборник научных трудов. Выпуск 11. – Новосибирск: Издательств ООО «ЦРНС», 2010. – С. 124 – 129.
3. Михеев, В. А. Расчет времени эксплуатационной работы дизель-генераторной установки тепловоза по позициям контроллера машиниста / В. А. Михеев. // Вестник ИРГТУ. – 2010. - № 2 (42) – С. 142 – 146.
4. Методы оценки технического состояния, эксплуатационной экономичности и экологической безопасности дизельных локомотивов / Под ред. А. И. Володина. – М.: ООО «Желдориздат», 2007. – 264 с.
5. Кузьмич В. Д. Теория локомотивной тяги / В. Д. Кузьмич, В. С. Руднев, С. Я. Френкель; под ред. В. Д. Кузьмича. – М.: Издательство «Маршрут», 2005. – 448 с.
6. Порываева, Д. В. Программный модуль оценки экономических показателей эксплуатации тепловозов / Д. В. Порываева, В. Н. Бурнышева, В. А. Михеев // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: материалы Второй Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Омск: ОмГУПС, 2013. – С. 81 – 86.
7. Володин, А. И. Режимы работы ДГУ тепловозов на восточном полигоне железных дорог / А. И. Володин, А. В. Чулков, О. В. Балагин, Хан Рен Ир. // Вестник инж. электромехаников ж.-д. трансп. – Самара: РИО СамГУПС, 2003. – С. 502 – 505.

ASSESSMENT OF OPERATIONAL ECONOMY OF DIESEL LOCOMOTIVES ON THE GIVEN AREA OF SERVICE

V. A. Mikhayev

Abstract. The article dwell on the possibility of using mathematical modeling for formation modes of diesel locomotives' operation and assessment of operational economy of a diesel energy installation for the given area of circulation and expected conditions of operation taking into account individual tractive, energy and economic characteristics of locomotives. There are presented results of modeling time sharing of operational work of a locomotive's diesel generator installation on the positions of master controller and its operational economy for the accepted area of circulation and expected conditions of operation.

Keywords: diesel locomotive, traction calculations, operational economy.

References

1. Skovorodnikov E. I., Chulkov A. V., Miheev V. A., Ahmetov S. I. Razrabotka matematicheskoy modeli dlja formirovaniya rezhimov raboty i rashoda topliva magistral'nyh teplovozov [Development of mathematical model for forming regimes and fuel consumption of main diesel locomotives]. *Omskij nauchnyj vestnik*, 2009, no 2 (80). pp. 143 – 146.
2. Skovorodnikov E. I., Mikheev V. A., Grishina Y. B. Formirovanie rezhimnyh kart vedeniya poezda teplovozom na zadannom uchastke jekspluatacii [Formation of regime cards of driving a train by locomotive on the given area of operation]. *Aktual'nye voprosy sovremennoj nauki: sbornik nauchnyh trudo*, Novosibirsk, Izdatel'stv ООО CRNS, 2010. pp. 124 – 129.
3. Mikheev V. A. Raschet vremeni jekspluacionnoj raboty dizel'-generatornoj ustanovki teplovoza po pozicijam kontrollera mashinista [Calculation of the operational time of a diesel-generator of a locomotive's installation by the positions of a master controller]. *Vestnik IrGTU*, 2010, no 2 (42). pp. 142 – 146.
4. *Metody ocenki tehničeskogo sostojanija, jekspluacionnoj jekonomičnosti i jekologičeskoy bezopasnosti dizel'nyh lokomotivov* [Methods of assessing technical condition, operational economy and ecological safety of diesel locomotives]. Pod red. A. I. Volodina. Moscow, ООО Zheldorizdat, 2007. 264 p.
5. Kuzmich V. D. *Teorija lokomotivnoj tjagi* [The theory of locomotive traction]. Moscow, Izdatel'stvo Marshrut, 2005. 448 p.
6. Poryvaeva D. V., Burnysheva V. N., Mikheev V. A. Programmnyj modul' ocenki jekonomičeskikh pokazatelej jekspluatacii teplovozov [Program module of assessing economic indexes of operating locomotives]. *Tehnologičeskoe obespechenie remonta i povыshenie dinamicheskikh kachestv železnodorozhnogo podvizhnogo sostava: materialy Vtoroj Vserossijskoj nauchno-tehničeskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*. Omsk: OmGUPS, 2013. pp. 81 – 86.
7. Volodin A. I., Chulkov A. V., Balagin O. V., Han Ren Ir Rezhimy raboty DGU teplovozov na vostochnom poligone zhelezných dorog [Mode of locomotives' diesel generator plant's operation on the east ground of railroads]. *Vestnik inzh. jelektromehaničkov žh.-d. transport*, Samara: RIO SamGUPS, 2003. pp. 502 – 505.

Михеев Владислав Александрович (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС). (644046, г. Омск, пр. Карла Маркса, 35, e-mail: Micheev_V_A@mail.ru)

Mikheev Vladislav Aleksandrovich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, associate professor of the department "Railway cars" of Omsk State Transport University (644046, Omsk, Marks ave., 35, e-mail: Micheev_V_A@mail.ru)