

Е. Б. ДЕМЧЕНКО (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна)

## ОЦЕНКА РАСХОДА ТОПЛИВА МАНЕВРОВЫМИ ТЕПЛОВОЗАМИ ПРИ РАСФОРМИРОВАНИИ СОСТАВОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ

Наведено аналіз існуючих методик визначення витрат палива маневровими тепловозами при насуві та розпуску составів. Виконана оцінка адекватності розробленої моделі процесу насуву та розпуску составів на сортувальній гірці.

*Ключові слова:* сортувальна гірка, режим розформування составів, гірковий локомотив

Приведен анализ существующих методик определения расхода топлива маневровыми тепловозами при надвиге и роспуске составов. Выполнена оценка адекватности разработанной модели процесса надвига и роспуска составов на сортировочной горке.

*Ключевые слова:* сортировочная горка, расход топлива, горочный локомотив

The analysis of existing methods of estimation of shunting engines fuel consumption for the humping process is given. The verification of pushing and breaking-up process model is performed.

*Keywords:* hump yard, fuel consumption, hump engine

При решении задач выбора рационального режима работы подсистем расформирования станций, а также оценки эффективности конструкции существующих и вновь проектируемых сортировочных устройств возникает необходимость определения расходов, связанных с их эксплуатацией. Одной из составляющих таких расходов являются затраты дизельного топлива маневровыми тепловозами.

В настоящее время расход топлива (кг/ч) на производство тепловозом маневровой работы устанавливается в зависимости от количества вагонов, переработанных данным локомотивом за час [1]. Указанная методика не учитывает характеристики маневрового тепловоза, параметры состава и маршрута передвижения, тип полурейса и способ выполнения маневров и, как следствие, не может быть использована для выбора рационального режима работы сортировочного комплекса.

Для решения указанной задачи в работе [2] предложена комплексная имитационная модель процесса надвига и роспуска составов. Данная модель на основе тяговых расчетов, адаптированных к условиям маневровой работы, детально имитирует режим работы горочного тепловоза и процесс движения расформируемого состава. В результате моделирования может быть определен расход топлива на выполнение данной маневровой операции. При этом возникает задача выбора такой методики определения расхода топлива маневровым локомотивом, которая бы учитывала режим его движения при надвиге

и роспуске составов на горке.

Величина расхода топлива в соответствии с ПТР [4] определяется по следующей формуле:

$$E = \sum_1^n G \Delta t + g_x t_x, \quad (1)$$

где  $n$  – количество шагов, пройденных в режиме тяги;

$G$  – расход топлива, соответствующий средней постоянной скорости движения при используемой позиции контроллера машиниста на шаге  $\Delta t$ , кг/мин;

$\Delta t$  – время работы дизеля, в пределах которого скорость движения является постоянной, мин;

$g_x$  – расход топлива силовыми установками на холостом ходу, кг/мин;

$t_x$  – время движения на холостом ходу, мин.

Величина  $G$  должна определяться по расходным характеристикам в зависимости от используемой позиции контроллера машиниста (ПКМ)  $n_k$  и скорости движения  $v$  на шаге. При этом в [4] указанные характеристики маневровых тепловозов представлены только для 8-й ПКМ. В то же время, как показал анализ [3], горочные тепловозы работают под нагрузкой в основном на 1-4-й ПКМ. В связи с этим выражение (1) не может быть использовано для определения расхода топлива маневровыми тепловозами на расформирование составов.

В результате анализа публикаций установлено наличие нескольких альтернативных [4]

методик определения расхода топлива  $E$  маневровыми локомотивами.

**Методика 1.** Величина расхода топлива  $E$  может быть определена как [5]:

$$E = \sum_{j=1}^n g_{ej} \frac{N_{ej}}{\eta_{пj}} \Delta t + \sum_{i=1}^m g_{xi} \Delta t, \quad (2)$$

где  $j, n$  – соответственно, номер шага, пройденного в режиме тяги, и общее количество таких шагов;

$i, m$  – соответственно, номер шага, пройденного в режиме холостого хода, и общее количество таких шагов;

$g_{ej}$  – удельный расход топлива, отнесенный к эффективной мощности дизеля  $N_{ej}$ , кг/кВт·с;

$N_{ej}$  – эффективная мощность дизеля, кВт;

$\eta_{пj}$  – КПД передачи;

$g_{xi}$  – расход топлива в единицу времени при работе дизеля в режиме холостого хода, кг/с.

В выражении (2) величина удельного расхода топлива  $g_{ej}$  на  $j$ -м шаге, пройденном в режиме тяги, представляет собой функцию  $g_{ej} = f(N_{ej})$  от реализованной на данном шаге эффективной мощности  $N_{ej}$ . Известно, что зависимость удельного расхода топлива от эффективной мощности дизеля  $N_e$  при постоянной частоте вращения его вала  $n_d$  описывается нагрузочными характеристиками локомотива [6]; при этом указанные характеристики существуют для каждой частоты  $n_d$ . Постоянная частота оборотов  $n_d$  поддерживается регуляторами тепловозов для каждой ПКМ [7]; величина  $n_d$  по позициям контроллера локомотивов ТЭМ2 и ЧМЭ3 принята согласно [8, 9] и приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Частота оборотов коленчатого вала  $n_d$ , об/мин по позициям контроллера машиниста**

Локомотив	Позиция контроллера машиниста $n_k$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ТЭМ2	300	300	330	400	480	570	650	750
ЧМЭ3	350	380	420	460	510	560	660	750

Таким образом, удельный расход  $g_{ej}$  должен определяться по соответствующим нагрузочным характеристикам тепловоза  $g_{ej} = f(N_{ej}, n_{kj})$  в зависимости от эффективной мощности  $N_{ej}$  и используемой на  $j$ -м шаге ПКМ  $n_{kj}$ .

Нагрузочные характеристики тепловозов ТЭМ2 и ЧМЭ3 приведены в [8] и [10], соответственно; при этом для локомотива ЧМЭ3 указанная характеристика представлена лишь для 8-й ПКМ. В то же время в инструкции [10] имеется универсальная трехпараметровая характеристика дизеля K6S310DR (рис. 1), путем преобразования которой возможно получить нагрузочные характеристики  $g_e = f(N_e, n_k)$  для каждой ПКМ тепловоза ЧМЭ3. Порядок перехода от универсальной к нагрузочным характеристикам описан ниже.

Так, для построения нагрузочных характеристик на имеющейся универсальной характеристике тепловоза (см. рис. 1) к оси абсцисс в точках, соответствующих частоте оборотов  $n_d$  для каждой ПКМ (см. табл. 1), восстанавливаются перпендикуляры. Затем в точках пересечения указанных линий с семейством графиков среднего эффективного давления на поршень  $P_e = f(n_d, N_e)$  для каждой ПКМ методом интерполяции определяется величина удельного эффективного расхода топлива  $g_e$ . Полученные зависимости  $g_e = f(N_e)$  по позициям контроллера теп-

ловоза ЧМЭ3 приведены на рис. 2.

Величина эффективной мощности  $N_{ej}$  на каждом  $j$ -м шаге, определяется по формуле [7]:

$$N_{ej} = \frac{N_{kj}}{\eta_{пj}(1-\beta_j)}, \quad (3)$$

где  $N_{kj}$  – касательная мощность локомотива, кВт, которая определяется как [7]:

$$N_{kj} = \frac{F_{kj} v_j}{3,6}; \quad (4)$$

здесь  $F_{kj}$  – касательная сила тяги, кН;

$v_j$  – средняя скорость движения, км/ч;

$\beta_j$  – доля мощности дизеля, расходуемая на привод вспомогательного оборудования локомотива.

Известно, что КПД передачи локомотива  $\eta_{п}$  непрерывно изменяется в широком диапазоне, а величина  $\beta_j$  зависит от задействованного в текущий момент вспомогательного оборудования [11]. В то же время в [4] отсутствует методика определения указанных параметров в процессе тяговых расчетов. В этой связи величины  $\beta_j$  и  $\eta_{пj}$  при моделировании приняты постоянными в соответствии с [7] и составляют  $\beta = 0,12$  и  $\eta_{п} = 0,8$ .

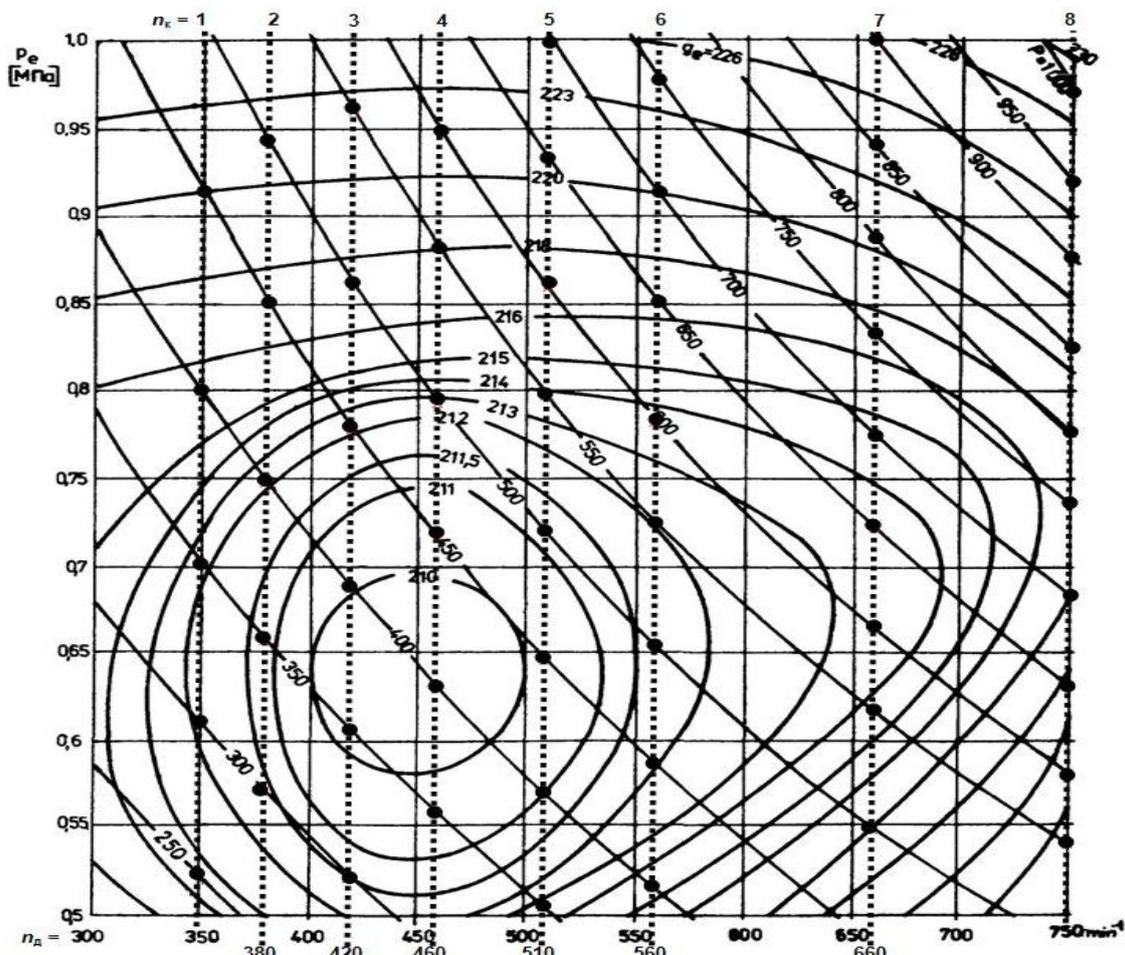


Рис. 1. Универсальная характеристика дизеля K6S310DR

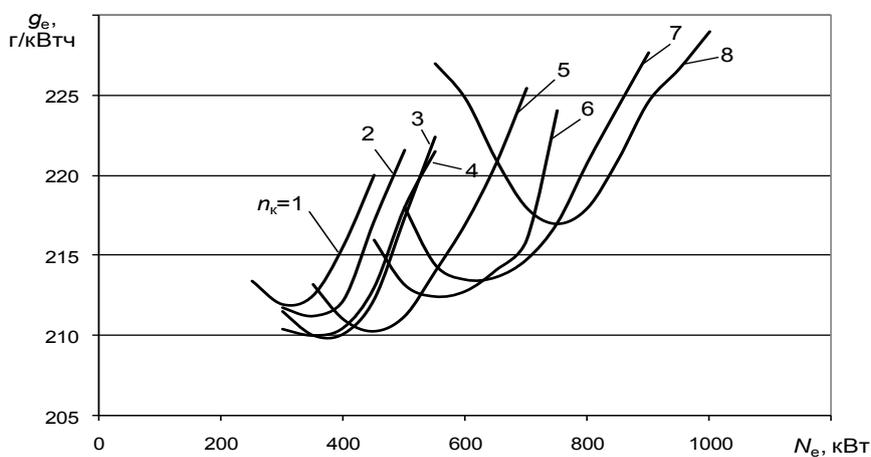


Рис. 2. Нагрузочные характеристики  $g_e = f(N_e, n_k)$  тепловоза ЧМЭЗ

Расход топлива  $g_{xi}$  на каждом  $i$ -м шаге, пройденном в режиме выбега или торможения, также представляет собой постоянную величину, которая для тепловозов ЧМЭЗ и ТЭМ2 составляет, соответственно, 0,15 и 0,10 кг/мин [4].

При моделировании надвига и роспуска составов на каждом шаге моделирования  $\Delta t$  выбирается ПКМ [2]. Если по условиям движения установлен режим тяги ( $n_k > 0$ ), то в соответ-

ствии с выбранной позицией  $n_{kj}$  и скоростью движения  $v_j$  по тяговым характеристикам определяется величина силы  $F_{kj}$ . При известном значении силы тяги  $F_{kj}$  с помощью выражений (3), (4) рассчитывается величина эффективной мощности дизеля  $N_{ej}$ , в соответствии с которой, используя полученные выше зависимости  $g_e = f(N_e, n_k)$ , определяется удельный расход топлива  $g_{ej}$  на  $j$ -м шаге. В противном случае (уста-

новлен режим выбега или торможения) расход топлива на  $i$ -м шаге определяется по величине  $g_{xi}$ , принятой для рассматриваемого локомотива.

Следует отметить, что в области малых скоростей ( $v_j \leq 10$  км/ч) величина эффективной мощности  $N_{ej}$  (3) может оказаться меньше, чем ее нижняя граница  $N_{e \min}$ , при которой существует нагрузочная характеристика  $g_e = f(N_e, n_k)$  для рассматриваемой ПКМ  $n_{kj}$  (см. рис. 2). В таком случае величина  $g_{ej}$  на  $j$ -м шаге моделирования принимается равной удельному расходу топлива, соответствующему мощности  $N_{e \min}$  для позиции  $n_{kj}$ . Данное обстоятельство в совокупности с ранее принятым допущением о постоянстве величин  $\beta_j$  и  $\eta_{tj}$  вносят определенную погрешность в расчет расхода топлива, выполненного с помощью данной методики.

**Методика 2.** Величина расхода топлива  $E$  может быть определена как [9]:

$$E = \sum_{j=1}^n g_{kj} \Delta t + \sum_{i=1}^m g_{xi} \Delta t, \quad (5)$$

где  $g_{kj}$  – расход топлива в единицу времени при работе дизеля под нагрузкой, кг/с;

$g_{xi}$  – расход топлива в единицу времени при работе дизеля на холостом ходу, кг/с.

В режиме тяги величина расхода топлива  $g_{kj}$  принимается в соответствии с используемой на  $j$ -м шаге позицией  $n_{kj}$ . Значения параметра  $g_k$  (при работе дизеля по тепловозной характеристике) для каждой ПКМ локомотива ЧМЭЗ приняты согласно [9] и приведены в табл. 2.

Таблица 2

Часовой расход топлива тепловозом ЧМЭЗ

Показатель	Позиция контроллера машиниста $n_k$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Расход топлива $g_k$ , кг/ч	31	63	96	110	120	160	174	180

Величина расхода топлива  $g_{xi}$  при работе дизеля в режиме холостого хода определяется аналогично методике 1.

**Методика 3.** Автором [12] для определения расхода топлива маневровым тепловозом с электрической передачей предлагается использовать величину эффективной работы дизель-генераторной установки (ДГУ)  $A_r$ . При этом часовой расход топлива  $g_{ч}$  связан с работой  $A_r$  линейной зависимостью вида:

$$g_{ч} = g_x + b A_r, \quad (6)$$

где  $g_x$  – расход топлива дизелем при работе на холостом ходу, кг/ч;

$b$  – постоянный коэффициент, характеризующий норму расхода топлива на 1 кВт·ч эффективной работы ДГУ, кг/кВт·ч;

$A_r$  – эффективная работа ДГУ, кВт·ч/ч.

Расход топлива  $g_x$  при работе дизеля тепловоза в режиме холостого хода принимается в соответствии с [4].

Для определения величины коэффициента  $b$  были проанализированы отчетные данные системы «БИС-Р», которая позволяет измерять мгновенный расход топлива локомотивом, а также фиксировать электрическую мощность

его ДГУ [13]. На основании этих данных указанная система дает возможность сформировать отчет об эксплуатационном расходе топлива и выполненной генератором тепловоза работе за требуемый период (рис.3). Указанные отчетные данные за 24 смены работы тепловоза ЧМЭЗ-2567, выполнявшего расформирование составов в четной системе сортировочной станции Нижнеднепровск-Узел, приведены в табл. 3. Как видно из приведенной таблицы, среднее значение коэффициента составило  $b = 0,28$  кг/кВт·ч.

Величина эффективной работы ДГУ  $A_r$  может быть определена как [14]

$$A_r = \sum_{j=1}^n N_{Tj} \Delta t, \quad (7)$$

где  $N_{Tj}$  – мощность ДГУ на  $j$ -м шаге, пройденном в режиме тяги, кВт [7]:

$$N_{Tj} = \frac{N_{kj}}{\eta_{тд}}; \quad (8)$$

здесь  $\eta_{тд}$  – КПД тяговых двигателей.

Величина  $\eta_{тд}$  принята постоянной в соответствии с [7] ( $\eta_{тд} = 0,98$ ).

## Отчет о работе тепловоза ЧМЭЗ-2567

Смена	Топливо, кг				Работа ДГУ, кВт·ч	b, кг/кВт·ч	Смена	Топливо, кг				Работа ДГУ, кВт·ч	b, кг/кВт·ч
	принято	экипировка	слано	расход				принято	экипировка	слано	расход		
1	1769	0	1566	203	1026,9	0,20	13	2650	0	2433	217	747,0	0,29
2	1566	0	1363	203	705,8	0,29	14	2433	0	2206	227	886,3	0,26
3	1363	0	1194	169	602,2	0,28	15	2206	0	1983	223	788,8	0,28
4	1194	0	1024	170	664,7	0,26	16	1983	0	1784	199	699,0	0,28
5	1024	0	855	169	792,1	0,21	17	1784	0	1546	238	850,8	0,28
6	855	0	704	151	540,6	0,28	18	1546	0	1324	222	729,8	0,30
7	704	3260	3776	188	730,0	0,26	19	1324	0	1087	237	1084,0	0,22
8	3776	0	3583	193	545,5	0,35	20	1087	0	916	171	650,6	0,26
9	3583	0	3363	220	705,0	0,31	21	916	1601	2368	149	597,7	0,25
10	3363	0	3120	243	660,2	0,37	22	2368	0	2242	126	464,4	0,27
11	3120	0	2859	261	912,3	0,29	23	2242	0	1996	246	762,6	0,32
12	2859	0	2650	209	666,8	0,31	24	1996	0	1910	86	298,5	0,29

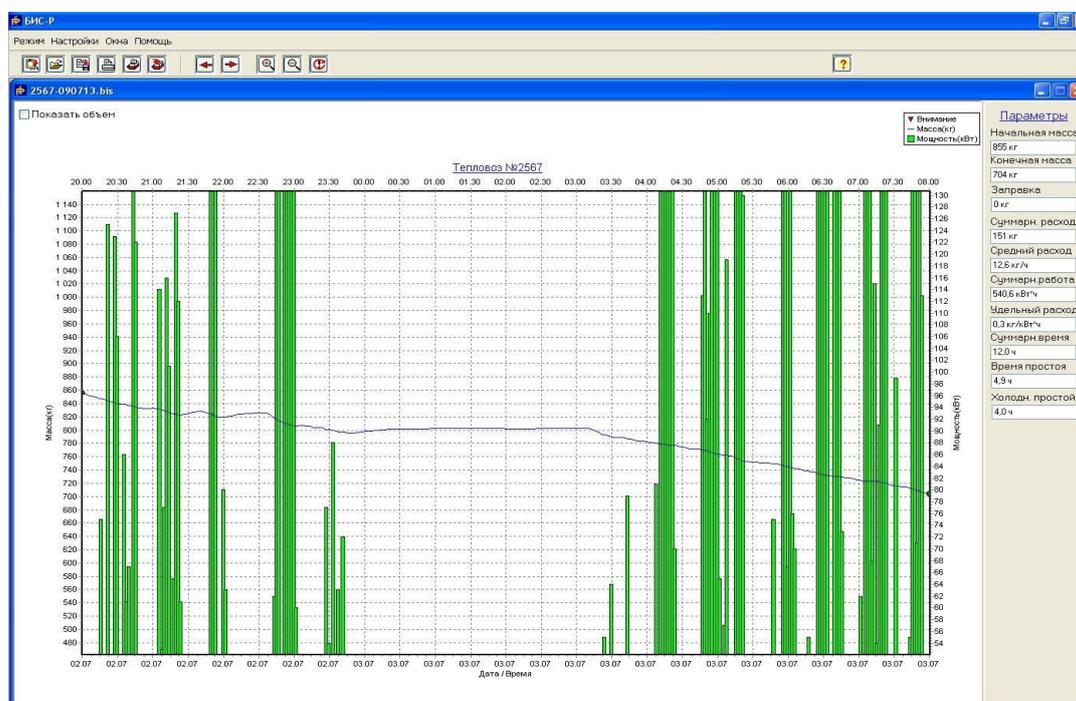
Среднее значение коэффициента b **0,28**

Рис. 3. Отчет АСУ «БИС-Р» об эксплуатационном расходе топлива тепловоза

**Методика 4.** Принципиально другим подходом является определение расхода топлива  $E$  на основе данных о выполненной локомотивом механической работе [15]:

$$E = \sum_{j=1}^n k_j R_{Lj}, \quad (9)$$

где  $k_j$  – переходной коэффициент;

$R_{Lj}$  – механическая работа силы тяги, т·км, которая определяется как [16]:

$$R_{Lj} = F_{kj} \Delta S_j, \quad (10)$$

где  $\Delta S_j$  – перемещение состава на шаге, км.

Коэффициент перехода  $k_j$  представляет собой соотношение, выраженное в килограммах дизельного топлива, расходуемого на выполнение локомотивом 1 т·км механической работы; при этом для маневровых тепловозов данный коэффициент принимается как постоянная величина  $k_j = 0,85$  [15].

Автором [17] выполнены исследования по

уточнению величины указанного коэффициента для ряда магистральных и маневровых локомотивов, в результате чего получены следующие зависимости:

$$k_j = \begin{cases} -0,00002 v_j^2 - 0,0021 v_j + 0,969 & \text{— для ТЭМ2 (11)} \\ 0,00002 v_j^2 - 0,0030 v_j + 0,920 & \text{— для ЧМЭЗ} \end{cases}$$

Таким образом, при данной на каждом  $j$ -м шаге моделирования определяется касательная сила тяги  $F_{kj}$  и средняя скорость движения  $v_j$ . Затем, используя данные величины, с помощью выражений (10), (11) рассчитываются, соответственно, выполненная механическая работа  $R_{ij}$  и коэффициент перехода  $k_j$ , на основании которых по формуле (9) определяется расход топлива на очередном шаге.

С целью выявления наиболее эффективной методики для определения затрат топлива тепловозами на расформирование составов были выполнены экспериментальные исследования за сортировочным процессом в четной системе станции Нижнеднепровск-Узел. При этом фиксировались:

- параметры расформируемого состава;

- динамика перевода контроллера машиниста при надвиге и роспуске состава;
- моменты отрыва отцепов на вершине горки;
- продолжительность полурейса надвига и роспуска;
- расход топлива горочным тепловозом (с помощью системы «БИС-Р»).

Также были получены данные о конструкции плана и продольного профиля путей парка приема 3 и сортировочной горки четной системы ст. Нижнеднепровск-Узел. С использованием указанных данных и модели [2] выполнено имитационное моделирование расформирования 17 реальных составов поездов; результаты моделирования приведены в табл. 4. В данной таблице указаны величины расхода топлива, полученные при натуральных наблюдениях  $x_i, i = 1..n (n = 17)$ , и при имитационном моделировании с использованием описанных выше методик  $y_{ij}, i = 1..n, j = 1..5$ . Указанные статистические данные ( $x_i, y_{ij}$ ) представляют собой связанные выборки случайной величины расхода топлива при расформировании отдельных составов.

Таблица 4

**Результаты имитационного моделирования процесса надвига и роспуска составов**

№ поезда	Масса брутто, т	Условная длина	Путь парка приема	Средняя скорость роспуска, м/с	Натурные наблюдения		Результаты моделирования						
					Продолжительность, с	Расход топлива, кг	Продолжительность, с	Механическая работа, ткм	Расход топлива, кг по методикам				
									1	2	3	4	
												$k$ рассчитан по (11)	$k = 0,85$
3524	3124	43	2з	1,19	729	6,89	728	10,2	17,43	16,71	7,57	9,52	8,67
3702	2253	54	5з	1,30	821	8,34	826	9,96	19,66	16,18	7,53	9,28	8,47
3510	1255	46	3з	1,56	668	3,13	670	4,5	14,82	8,80	3,29	4,22	3,83
2606	2697	57	3з	1,25	831	9,17	835	9,7	19,96	16,61	7,36	9,05	8,25
3506	3117	44	5з	1,24	883	10,41	887	11,73	21,2	19,34	8,82	10,95	9,97
3712	2145	45	3з	1,19	874	7,06	879	6,82	20	13,67	5,04	6,37	5,80
4702	840	10	1з	1,82	532	4,40	539	4,49	11,91	7,56	3,3	4,22	3,82
3508	1919	26	4з	1,39	797	6,89	794	8,7	18,52	14,82	6,47	8,14	7,40
3610	1962	24	5з	1,12	978	7,25	980	8,78	22,7	17,06	6,53	8,18	7,46
3706	2971	43	1з	1,56	618	8,95	622	8,3	20,2	13,08	6,28	7,77	7,06
2116	1383	57	1з	1,33	730	4,81	734	4,8	22,33	10,16	3,53	4,48	4,08
1067	891	20	2з	1,86	250	2,46	245	3,14	7,85	4,45	2,27	2,95	2,67
9668	769	35	2з	2,13	329	2,68	332	2,77	10,34	5,20	2,06	2,61	2,35
3502	3103	45	5з	1,50	733	6,47	740	11,36	24,36	16,96	8,67	8,47	9,66
9614	1096	33	2з	1,10	584	3,90	582	3,19	17,22	7,12	2,52	2,98	2,71
2064	3344	57	4з	1,44	767	7,61	762	9,59	24,71	15,35	7,15	8,97	8,15
2032	3321	57	4з	1,28	864	10,12	860	12,23	28,43	19,53	9,14	11,42	10,40
Сумма						110,55			321,64	222,60	97,53	119,58	110,72
Среднее значение				1,43		6,50			18,92	13,09	5,74	7,03	6,51

В соответствии с существующими методами статистического анализа экспериментальных данных [18], о применимости некоторой методики для расчета расхода топлива горючими тепловозами свидетельствует однородность выборок данных натуральных наблюдений и результатов имитационного моделирования, полученных с использованием рассматриваемой методики.

Для проверки гипотезы об однородности связанных выборок может быть использован  $T$ -критерий Уилкоксона [19]. Данный критерий строится следующим образом. Пусть  $R(Z_{ij})$  является рангом  $|Z_{ij}|$  в ранжировке от меньшего к большему абсолютных значений разностей  $|Z_{1j}|, |Z_{2j}|, \dots, |Z_{nj}|$ , где  $Z_{ij} = x_i - y_{ij}$ .

Определим переменные-счетчики  $Q(Z_{ij})$  как:

$$Q(Z_{ij}) = \begin{cases} 1, & \text{при } Z_{ij} > 0, \\ 0, & \text{при } Z_{ij} < 0. \end{cases} \quad (12)$$

Статистика  $T$ -критерия имеет вид:

$$T^+ = \sum_{i=1}^n R(Z_j)Q(Z_j). \quad (13)$$

При выполнении нулевой гипотезы статистика

$$T^{++} = \frac{T^+ - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}} \quad (14)$$

имеет асимптотическое стандартное нормальное распределение с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1. Следовательно, правило принятия решений на уровне значимости 5 % имеет вид: если  $|T^{++}| \leq 1,96$ , то гипотеза однородности связанных выборок по критерию Уилкоксона принимается, в противном случае – отклоняется. Результаты проверки однородности выборок сведены в табл. 5.

Таблица 5

Статистика критерия Уилкоксона

Параметр	Методика				
	1	2	3	4	
				$k = 0,85$	$k$ расч.
$T^+$	129	145	52	76	67
$T^{++}$	2,52	3,29	-1,18	-0,02	-0,46

Как видно из табл. 5, гипотеза об однородности связанных выборок может быть принята для методик 3 и 4. При этом, как показал анализ, применение методики 3 требует предварительного экспериментального определения ко-

эффициента  $b$ , который используется в выражении (6) для определения расхода топлива тепловозом. Данное обстоятельство существенно усложняет процесс адаптации указанной методики к исследуемому объекту, что вызывает значительные затруднения в случае необходимости оценки конструкции проектируемых сортировочных устройств. Поэтому для дальнейших исследований целесообразно использовать методику 4.

Оценка достоверности методики 4 выполнялась с использованием как постоянного, так и расчетного значения переходного коэффициента  $k$ ; при этом оба подхода дают удовлетворительные результаты. В то же время использование выражения (11) для определения указанного коэффициента позволяет более полно учесть режим работы горючего тепловоза.

Проведенные исследования показали, что расход топлива горючим тепловозом при расформировании составов на сортировочной горке целесообразно определять на основе величины выполненной в процессе надвига и роспуска механической работы силы тяги локомотива. Статистический анализ результатов натуральных наблюдений и имитационного моделирования свидетельствует об адекватности разработанной модели для оценки расхода топлива при надвиге и роспуске составов на сортировочных горках. Таким образом, указанная модель может быть использована для оценки конструкции существующих и вновь проектируемых сортировочных устройств, а также для выбора рационального режима функционирования подсистемы расформирования станции.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Інструкція по технічному нормуванню витрат електричної енергії і палива локомотивами на тягу поїздів. ЦТ-0059 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 05.03.2003 № 62-Ц. – К., 2003. – 85 с.
2. Бобровський, В. І. Моделювання процесу насуву та розпуску составів на сортувальній гірці [Текст] / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // 36. наук. праць ДНУЗТ «Транспортні системи та технології перевезень». – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2012. – Вип. 4. – С. 13-19.
3. Бобровский, В. И. Совершенствование имитационной модели процесса надвига и роспуска составов на сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, Е. Б. Демченко // 36. наук. праць ДНУЗТ «Транспортні системи та технології перевезень». – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2012. – Вип. 3. – С. 5-9.
4. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст]. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.

5. Методика тяговых расчетов для маневровой работы ЦДЛ-21 [Текст]. - М.: Транспорт, 1988. - 132 с.

6. Володин, А. И. Локомотивные энергетические установки [Текст]: уч. для вузов ж.-д. трансп. / А. И. Володин, В. З. Зюбанов, В. Д. Кузьмич и др. - М.: ИПК «Желдориздат», 2002. - 718 с.

7. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування [Текст]: підруч. для ВНЗ залізнич. трансп. / Б. Є. Боднар, Є. Г. Нечаєв, Д. В. Бобирь / Під ред. Б. Є. Боднара. - Д.: ПП «Ліра ЛТД», 2010. - 358 с.

8. Тепловозы ТЭМ1 и ТЭМ2 [Текст]: Изд. 2-е, испр. и доп. / Под ред. Е. Ф. Сдобникова. - М.: Транспорт, 1978. - 279 с.

9. Настанова по економному використанню дизельного палива при експлуатації тепловозів. ЦТ-0198 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 29.10.2010. № 161-ЦЗ / Державна адміністрація залізничного транспорту України. - К., 2011. - 101 с.

10. Инструкция по эксплуатации двигателя K6S310DR для тепловоза ЧМЭЗТ [Текст]. - Ческа-Тршебова: ЧКД Прага. 1988. - 198 с.

11. Назаров, Л. С. Как оценить усовершенствования маневрового тепловоза [Текст] / Л. С. Назаров // Локомотив. - 2003. - № 10. - С. 40-42.

12. Боднар, Б. Е. Определение нормы расхода топлива [Текст] / Б. Е. Боднар // Промышленный транспорт. - 1981. - № 7. - С. 22.

13. Дробаха, В. И. Автоматизированная система учета эксплуатационного расхода топлива «АСУ БИС-Р» [Текст] / Дробаха В. И., Каплун А. Н.,

Северин И. В. // Локомотив-информ. - 2006. - № 4 - С. 40-42.

14. Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизель-поездам [Текст] / Под ред. А. И. Тищенко. - М.: Транспорт, 1976. - Т. I. - 432 с.

15. Луговой, П. А. Основы технико-экономических расчетов на железнодорожном транспорте [Текст] / П. А. Луговой, Л. Г. Цыпин, Р. А. Аукуционец - М.: Транспорт, 1973. - 232 с.

16. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций. - М.: ВПИТРАНССТРОЙ, 1988. - 468 с.

17. Корженевич, И. П. Оценка расхода топлива или электроэнергии через механическую работу локомотива [Текст] / И. П. Корженевич // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - 2009. - Вип. 29. - С. 88-90.

18. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. [Текст] / А. И. Кобзарь. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 816 с.

19. Холлендер, М. Непараметрические методы статистики [Текст] / М. Холлендер, Д. А. Вулф. - М.: Финансы и статистика, 1983. - 518 с.

*Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Т. В. Бутько (Украина)*

Поступила в редколлегию 24.12.2013.

Принята к печати 25.12.2013.