

# МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СПОЖИВАННЯ ПАЛИВА МОДЕРНІЗОВАНИМ МАНЕВРОВИМ ТЕПЛОВОЗОМ

О.В. Рудковський

Український державний університет залізничного транспорту,  
вул. Фейербаха, 7, Харків, 61050, Україна; e-mail: Od.is@rambler.ru

Наведено результати статистичної обробки експлуатаційних даних споживання палива для «гарячого» простою та виконання маневрової роботи модернізованим маневровим тепловозом ЧМЕЗМ. Розроблено математичну модель витрати палива маневровим тепловозом. Запропонована математична модель може бути застосована для оцінки життєвого циклу модернізованого маневрового тепловоза ЧМЕЗМ в частині споживання палива для виконання експлуатаційної роботи.

**Ключові слова:** маневровий тепловоз, експлуатація, маневрова робота, витрата палива, математична модель

## Актуальність теми

Вирішення проблеми оновлення тягового рухомого складу залізниць України повинно носити комплексний характер та включати як його повну заміну (переважно зразками нового покоління), так і його модернізацію з подовженням терміну експлуатації [1]. Такий підхід дозволяє планово та практично без болю ліквідувати кризи залізничної галузі.

Одним з рішень щодо оновлення парку маневрових тепловозів стала комплексна модернізація тепловоза ЧМЕЗ з установкою дизеля Caterpillar потужністю на номінальному режимі 970 кВт.

Ключовим питанням при виборі варіанту оновлення тепловозів за цих обставин є фактична витрата палива для виконання експлуатаційної роботи.

## Огляд досліджень

В роботах [2, 3] для визначення питомої витрати дизельного палива (кг/год) тепловозом ЧМЕЗ при виконанні маневрової роботи в якості математичної моделі пропонується поліном другого ступеня, застосування якого ґрунтується на обробці статистичних даних експлуатації.

В роботі [4] наведено багатофакторну математичну модель витрати палива тепловозом ЧМЕЗ при роботі на маневровій горці при різних умовах експлуатації, а саме: структурою потягу за кількістю та типами вантажних вагонів і рівнем їх завантаженості.

Визначення таким чином витрати дизельного палива не становить складності і може, дійсно, використовуватися для орієнтовних підрахунків, як це пропонується авторами, але такий підхід не достатньо точно враховує особливості маневрового тепловоза, що пройшов комплексну модернізацію за рахунок оснащення сучасним силовим енергетичним обладнанням.

## Мета роботи

Метою статті є виклад результатів обробки статистичних даних витрати палива маневровим тепловозом ЧМЕЗ, який було комплексно модернізовано сучасним силовим енергетичним обладнанням, та подальшим складанням математичної моделі споживання палива з урахуванням виконаної статистичної обробки.

## Основна частина

Тепловоз ЧМЕЗМ є продуктом комплексної модернізації тепловоза серії ЧМЕЗ, від якого перейнято головну раму та ходову частину тепловоза. Зміни в цих вузлах пов'язано з встановленням на тепловозі нових агрегатів так, що, по суті, вище головної рами тепловоз повністю відновлено.

На тепловозі розташовано привідний агрегат, який складається із двигуна внутрішнього згоряння, тягового та допоміжного генератора змінного струму. На локомотиві встановлено двигун внутрішнього згоряння САТ 3508В з заданою потужністю 970 кВт. Регулювання потужності здійснюється за допомогою електронного регулятора.

Спостереження за споживанням палива модернізованим маневровим тепловозом ЧМЕЗМ здійснювалось протягом 80 робочих змін. Протягом окремої і-ої робочої зміни тепловоз знаходився у наступних характерних експлуатаційних станах:

- холодний простій;
- гарячий простій;
- виконання маневрової роботи.

Тривалість знаходження у стані протягом і-ої робочої зміни складав відповідно  $\tau_i^{x.n.}$ ,  $\tau_i^{g.n.}$ ,  $\tau_i^{m.p.}$  годин. Загальний час робочих змін за період спостереження споживання

палива локомотивом складав  $\sum_{i=1}^{i=80} (\tau_i^{x.n.} + \tau_i^{g.n.} + \tau_i^{m.p.}) = 1015,4$  годин. Протягом цього

періоду модернізований маневровий тепловоз 56,22 % часу знаходився у стані холодного простою, 4,62 % – у стані гарячого простою, 39,16 % – у стані виконання маневрової роботи. Слід також відзначити, що окремі робочі зміни за період спостереження склалися з трьох вказаних станів локомотива (кількість таких робочих змін 37), а окремі – з двох, а саме: холодний простій та виконання маневрової роботи (кількість таких робочих змін 43). Такі варіанти складу робочих змін склали відповідно 42,33% та 57,67 % робочого часу табл. 1.

**Таблиця 1.**

Розподіл тривалості стану локомотива протягом робочої зміни за період спостереження

Варіант складу робочої зміни за станами локомотива	Кількість робочих змін	Стан локомотива протягом робочої зміни, %			Разом
		холодний простій	гарячий простій	виконання маневрової роботи	
А	37	19,72	4,62	17,99	42,33
В	43	36,51	-	21,16	57,67
Разом	80	56,22	4,62	39,16	100,00

Зрозуміло, що протягом знаходження у холодному простій маневровий тепловоз паливо не використовує. Тому цей стан було виключено зі спостереження споживання палива тепловозом. Таким чином, протягом і-ої робочої зміни спостерігалась загальна

витрата палива маневровим тепловозом, яка складається з витрати палива для гарячого простою  $G_i^{z.n.}$  та для виконання маневрової роботи  $G_i^{m.p.}$  і визначається за формулою

$$G_i^{zaz} = G_i^{z.n.} + G_i^{m.p.} \quad (1)$$

Витрата палива локомотивом у гарячому простої визначається годинною витратою палива дизельною установкою на режимі холостого ходу  $b_{x.x.}$  та тривалістю і-ої робочої зміни  $\tau_i^{z.n.}$  і визначається за формулою

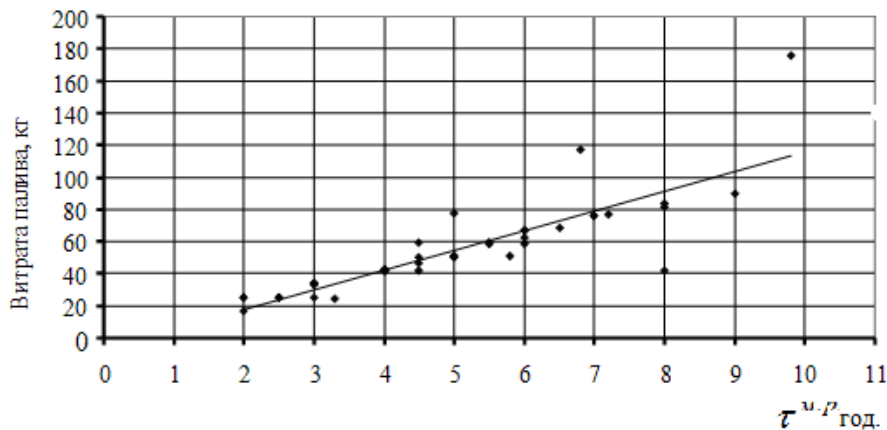
$$G_i^{z.n.} = b_{x.x.} \cdot \tau_i^{z.n.} \quad (2)$$

Підставляючи вираз (2) у формулу (1) отримаємо

$$G_i^{zaz} = b_{x.x.} \cdot \tau_i^{z.n.} + G_i^{m.p.} \quad (3)$$

Витрату палива маневровим тепловозом для виконання маневрової роботи  $G_i^{m.p.}$  можна дослідити за умови варіанту В складу робочої зміни (табл. 1), для якого характерним є відсутність гарячого простою.

Залежність витрати палива маневровим тепловозом ЧМЕЗМ від тривалості виконання маневрової роботи протягом і-ої робочої зміни (за варіантом відсутності гарячого простою) наведено на рис. 1.



**Рис. 1.** Залежність витрати палива маневровим тепловозом ЧМЕЗМ від тривалості виконання маневрової роботи протягом і-ої робочої зміни (за варіантом відсутності гарячого простою)

Наведена залежність витрати палива від тривалості виконання маневрової роботи модернізованим маневровим тепловозом ЧМЕЗМ протягом і-ої робочої зміни (за варіантом відсутності гарячого простою) апроксимується наступною залежністю

$$G_i^{m.p.} = 12,29 \cdot \tau_i^{m.p.} - 6,766 \quad (4)$$

де  $\tau_i^{m.p.}$  – тривалість виконання маневрової роботи модернізованим маневровим тепловозом ЧМЕЗМ, яка знаходиться в межах  $2 \leq \tau_i^{m.p.} \leq 9,8$  годин протягом і-ої робочої зміни (за варіантом відсутності гарячого простою).

Тривалість виконання маневрової роботи модернізованим маневровим тепловозом ЧМЕЗ (за варіантом відсутності гарячого простою) за час дослідження (43 робочі зміни) склала  $\sum_{i=1}^{i=43} \tau_i^{M.P.} = 214,9$  годин. За цей час модернізованим маневровим тепловозом

ЧМЕЗМ фактично було використано  $\sum_{i=1}^{i=43} G_i^{M.P.} = 2350,14$  кг палива, тобто фактична середньо-експлуатаційна питома витрата палива для виконання маневрової роботи модернізованим маневровим тепловозом ЧМЕЗМ складає  $b_{M.P.}^{\phi} = \frac{2350,14}{214,9} = 10,94$  кг/год.

За розрахунком з використанням формули (4) за відповідний час тривалості маневрової роботи за робочими змінами модернізованим маневровим тепловозом ЧМЕЗМ (за варіантом відсутності гарячого простою) було використано  $\sum_{i=1}^{i=43} G_i^{M.P.} = \sum_{i=1}^{i=43} (12,29 \cdot \tau_i^{M.P.} - 6,766) = 2350,18$  кг палива, тобто розрахункова середньо-експлуатаційна питома витрата палива для виконання маневрової роботи модернізованим маневровим тепловозом ЧМЕЗМ складає  $b_{M.P.}^p = \frac{2350,18}{214,9} = 10,94$  кг/год.

Це вказує на достатню адекватність отриманої залежності витрати палива від тривалості виконання маневрової роботи модернізованим маневровим тепловозом ЧМЕЗМ протягом і-ої робочої зміни (за варіантом відсутності гарячого простою).

З формули (3) та з урахуванням залежності (4) отримаємо вираз, який дозволяє визначити середньо-експлуатаційну годинну витрату палива тепловозом на режимі холостого ходу під час гарячого простою протягом:

- і-ої робочої зміни

$$b_{x.x_i}^{\phi} = \frac{G_i^{заг} - G_i^{M.P.}}{\tau_i^{z.n.}} = \frac{G_i^{заг} - (12,29 \cdot \tau_i^{M.P.} - 6,766)}{\tau_i^{z.n.}}; \quad (5)$$

- всього періоду спостереження

$$b_{x.x}^{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^{i=37} (G_i^{заг} - (12,29 \cdot \tau_i^{M.P.} - 6,766))}{\sum_{i=1}^{i=37} \tau_i^{z.n.}}. \quad (6)$$

За результатами даних спостереження за формулою (6) було отримано середньо-експлуатаційну годинну витрату палива тепловозом на режимі холостого ходу під час гарячого простою  $b_{x.x}^{\phi} = 3,42$  кг/год. За технічним паспортом годинна витрата палива модернізованим тепловозом на режимі холостого ходу складає 4,2 л/год або 3,45 кг/год (густина зимового виду палива дорівнює 0,822 г/см<sup>3</sup> при середній температурі навколишнього середовища під час проведення спостережень +8<sup>0</sup> С), що, підтверджується фактичними даними спостереження в експлуатації.

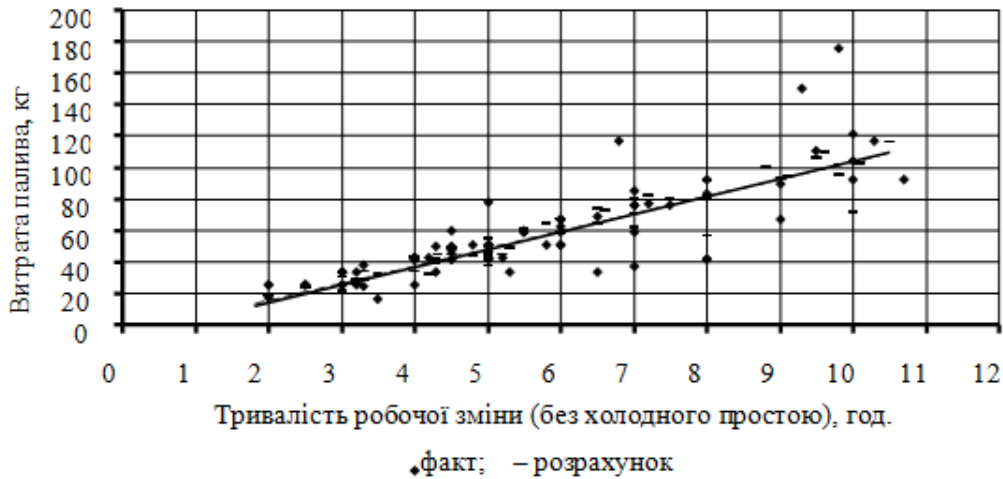
Таким чином, остаточно отримаємо математичну модель споживання палива модернізованим маневровим тепловозом ЧМЕЗМ протягом і-ої робочої зміни

$$G_i^{заг} = 3,42 \cdot \tau_i^{z.n.} + 12,29 \cdot \tau_i^{M.P.} - 6,766, \quad (7)$$

при обмеженні  $\tau_i^{x.n.} + \tau_i^{z.n.} + \tau_i^{M.P.} \leq 12,$

де  $\tau_i^{x.n.}$  – тривалість холодного простою модернізованого маневрового тепловоза ЧМЕЗ протягом  $i$ -ої робочої зміни, год.;  $\tau_i^{z.n.}$  – тривалість гарячого простою модернізованого маневрового тепловоза ЧМЕЗ протягом  $i$ -ої робочої зміни, знаходиться в межах  $0,5 \leq \tau_i^{z.n.} \leq 5,0$  годин;  $\tau_i^{m.p.}$  – тривалість виконання маневрової роботи маневровим тепловозом протягом  $i$ -ої робочої зміни, знаходиться в межах  $2 \leq \tau_i^{m.p.} \leq 9,8$  годин; 12 – тривалість робочої зміни, год.

Рисунок 2 дає змогу оцінити адекватність отриманої математичної моделі споживання палива маневровим тепловозом ЧМЕЗМ фактичним даним експлуатації.



**Рис. 2.** Адекватність математичної моделі споживання палива маневровим тепловозом ЧМЕЗМ фактичним даним експлуатації

## Висновки

Загальна тривалість знаходження модернізованого маневрового тепловоза ЧМЕЗМ у стані гарячого простою та виконання маневрової роботи за весь час спостереження склала 444,5 годин. За цей час тепловозом фактично було використано 4505,78 кг палива. За розрахунком з використанням математичної моделі (7) з урахуванням тривалості гарячого простою та виконання маневрової роботи за відповідними робочими змінами модернізованим маневровим тепловозом ЧМЕЗМ було використано 4505,73 кг палива. Це вказує на достатню адекватність отриманої математичної моделі споживання палива маневровим тепловозом ЧМЕЗМ фактичним даним експлуатації. Розроблену математичну модель може бути застосовано для оцінки життєвого циклу модернізованого маневрового тепловоза ЧМЕЗМ в частині споживання палива для виконання експлуатаційної роботи.

## Список літератури

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки: Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 14 жовтня 2008 року № 1259.
2. Болжеларський, Я.В. Досвід і проблеми нормування палива на маневрову роботу в умовах Львівської залізниці / Я.В. Болжеларський, О.М. Гончаров // Залізничний транспорт України. – 2007. – №2. – С. 71 – 72.
3. Інструкція по технічному нормуванню витрат електричної енергії і палива локомотивами на тягу поїздів ЦТ-0059.: затверджено наказом Укрзалізниці від 5.03.2003 р. № 62-Ц. – Київ : Укрзалізниця, 2003. – 86 с.
4. Калабухін, Ю.Є. Застосування методології планування експерименту для математичного моделювання витрат палива маневровим тепловозом / Ю.Є. Калабухін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Харків: УкрДАЗТ. – 2009. – №5-6. – С. 90-92.
5. Овчинников, В.М. О снижении расхода дизельного топлива в маневровой работе / В.М. Овчинников, С.А. Пожидаев, В.В., Скрежендевский // Энергоэффективность. – 2010. – №10 (134). – С. 147. – 159.
6. Львовский, Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учебное пособие для вузов / Е.Н. Львовский // М.: Высшая школа – 1982. – 224 с.
7. Закс, Л. Статистическое оценивание /Л. Закс // М.: Статистика. – 1976. – 598 с.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВА МОДЕРНИЗИРОВАННЫМ МАНЕВРОВЫМ ТЕПЛОВОЗОМ

О.В. Рудковский

Украинский государственный университет железнодорожного транспорта,  
ул. Фейербаха, 7, Харьков, Украина; e-mail: Od.ia@rambler.ru

Приведены результаты статистической обработки эксплуатационных данных потребления топлива для «горячего» простоя и выполнения маневровой работы модернизированным маневровым тепловозом ЧМЭЗМ. Разработана математическая модель расхода топлива маневровым тепловозом. Предложенная математическая модель может быть использована для оценки жизненного цикла модернизированного маневрового тепловоза ЧМЭЗМ в части потребления топлива для выполнения эксплуатационной работы.

**Ключевые слова:** маневровый тепловоз, эксплуатация, маневровая работа, расход топлива, математическая модель.

### MATHEMATICAL MODEL OF FUEL CONSUMPTION BY THE MODERNIZED SHUNTING LOCOMOTIVE

O.V. Rudkovskiy

Ukrainian state university of railway transport,  
Str. Feuerbach, 7, Kharkov, Ukraine; e-mail: Od.ia@rambler.ru

Results of statistical processing of operational data of fuel consumption for "hot" idle time and performance of shunting work as the modernized shunting locomotive ЧМЭЗМ are given. The mathematical model of fuel consumption is developed by a shunting locomotive. The offered model can be used as the making mathematical model of life cycle of the modernized shunting locomotive ЧМЭЗМ regarding of fuel consumption for operational work performance.

**Keywords:** shunting locomotive, operation, shunting work, fuel consumption, mathematical model.