

УДК 629.424.1

ВОЛОДАРЕЦЬ М.В., аспірант (УкрДАЗТ).

Визначення необхідної енергоємності накопичувачів енергії та потужності силової установки маневрового тепловозу із гібридною тягою

Постановка проблеми

Як відомо, дизель-генераторна установка локомотивів завантажується не більше ніж на 50%, тобто середня експлуатаційна потужність силової установки тепловоза складає не більше половини від її повної потужності.

Тому виникає необхідність встановлення на локомотив двигуна внутрішнього згорання меншої потужності, а з метою запобігання шкоди для виконання тягової роботи локомотива, встановити додатково накопичувачі енергії достатньої ємності.

В усьому світі намагаються впровадити подібну передачу потужності на залізничному транспорті [1,2], проте всі локомотиви, що експлуатуються і виготовлюються в Україні, мають передачу без накопичувачів енергії.

У якості накопичувачів енергії можна використовувати конденсатори високої ємності, гіроскопічні апарати, акумуляторні батареї, індуктивні накопичувачі енергії тощо [3].

Необхідно визначити параметри таких накопичувачів енергії.

Мета статті

Визначення необхідної енергоємності накопичувача енергії та потужності силової установки для маневрового тепловозу із гібридною передачею.

Викладення основного матеріалу

Застосування накопичувачів енергії є найбільш актуальним для тягового рухо-

мого складу, який працює у імпульсному режимі, а саме для моторвагонного рухомого складу та маневрових локомотивів.

Для проектування гібридного тепловозу необхідно визначитись із параметрами дизель-генераторної установки і накопичувачів енергії.

Робота локомотива на середніх навантаженнях буде забезпечуватися роботою двигуна малої потужності, під час роботи на холостому ході та низьких навантаженнях двигун малої потужності буде поповнювати запас енергії у накопичувач і здійснювати роботу тепловоза, а на високих навантаженнях робота тепловоза буде здійснюватися за рахунок енергії накопичувача і за рахунок роботи двигуна малої потужності.

Було розроблено модель для вибору потужнісних характеристик маневрового тепловозу із гібридною передачею [4]. Розглянемо більш детально яким чином виконувався вибір параметрів накопичувача енергії.

Спочатку для певної ділянки, на якій експлуатується локомотив, який необхідно модернізувати, аналізуються дані БС-Р. Вхідними даними для розрахунку були: вектор потужність силової установки N_f , яка визначалась протягом поїздки кожні 2 хвилини Δt . В результаті отримуємо: значення кількості зафіксованих даних n , тривалість роботи тепловозу τ_{cm} , а також залежність $N_f(\tau)$, кількість шагів N_{steer} змінювання потужності силової установки, що розраховується, а на основі цього вектор j . Потім формується вектор коефіцієнту зміни потужності b_j .

Далі обчислюється середня потуж-

ність за даними БІС-Р $N_{ср}$, потужність $N_{рг} = N_{ср}$, яка приймається у якості базової для розрахунків.

На основі цих даних формується вектор потужності силової установки, що розраховується, N_{ustj} .

Для розрахунку енергоємності накопичувача енергії, необхідно сформувати матрицю необхідної енергоємності $E_{i,j}$, де $i \in (1 \dots n-1)$, при цьому n – це кількість елементів вектору потужності силової установки N_f .

Приймаємо початкову енергоємність $E_0=0$ і перший член матриці $E_{i,j}$ рівний E_0 , тобто $E_{1,j}=E_0$.

Потім визначаємо енергоємність накопичувача енергії $E_{i,j}$ на кожному етапі змінювання необхідної потужності тепловозу.

Матрицю $E_{i,j}$ формуватимемо наступним чином.

Для даного i -того шагу зміни необхідної потужності N_{fi} , при певному j , за умови, що $N_{fi} > N_{ustj}$, маємо:

$$E_{i+1,j} = E_{i,j} - (N_{fi+1} - N_{ustj}) \cdot \Delta\tau,$$

Якщо на певному кроці i, j $N_{fi} = N_{ustj}$, то:

$$E_{i+1,j} = E_{i,j},$$

Якщо на певному кроці i, j $N_{fi} < N_{ustj}$, то енергоємність накопичувача визначимо наступним чином:

1) якщо виконується умова:

$$E_{i,j} - (N_{fi+1} - N_{ustj}) \cdot \Delta\tau \leq E_0,$$

то:

$$E_{i+1,j} = E_{i,j} - (N_{fi+1} - N_{ustj}) \cdot \Delta\tau.$$

2) якщо виконується умова:

$$E_{i,j} - (N_{fi+1} - N_{ustj}) \cdot \Delta\tau \leq E_0,$$

то:

$$E_{i+1,j} = E_0.$$

Для певної j -тої потужності проектуємої силової установки на основі створеної матриці $E_{i,j}$ визначається необхідна енергоємність накопичувача енергії за наступною формулою:

$$E_{неj} = \left| \min(E_{i,j}) \right|.$$

При цьому формується вектор необхідної потужності силової установки N_{engj}

$$N_{engj} = N_{ustj}.$$

І на завершальному етапі для проектуемого тепловозу з урахуванням зміни його експлуатаційної потужності будується залежність енергоємності накопичувача енергії $E_{не}$ від потужності обраної силової установки N_{eng} . Залежність $E_{не}(N_{eng})$ для розглянутого режиму роботи тепловозу ЧМЕЗ з нанесеними на неї обмеженнями за вагою і об'ємом накопичувачів, яку було реалізовано у Mathcad, наведено на рисунку 1.

При цьому параметри накопичувачів енергії було сформовано у вигляді матриці $k_{не}$, яка має вигляд:

$$k_{не} = \begin{pmatrix} 0.37 & 0.19 & 160 & 0.875 \\ 0.068 & 0.0465 & 130 & 0.78 \\ 0.0042 & 0.0009 & 7.50 & 0.82 \\ 0.021 & 0.012 & 7.62 & 0.7 \\ 0.0003 & 0.001 & 48.61 & 0.74 \end{pmatrix}.$$

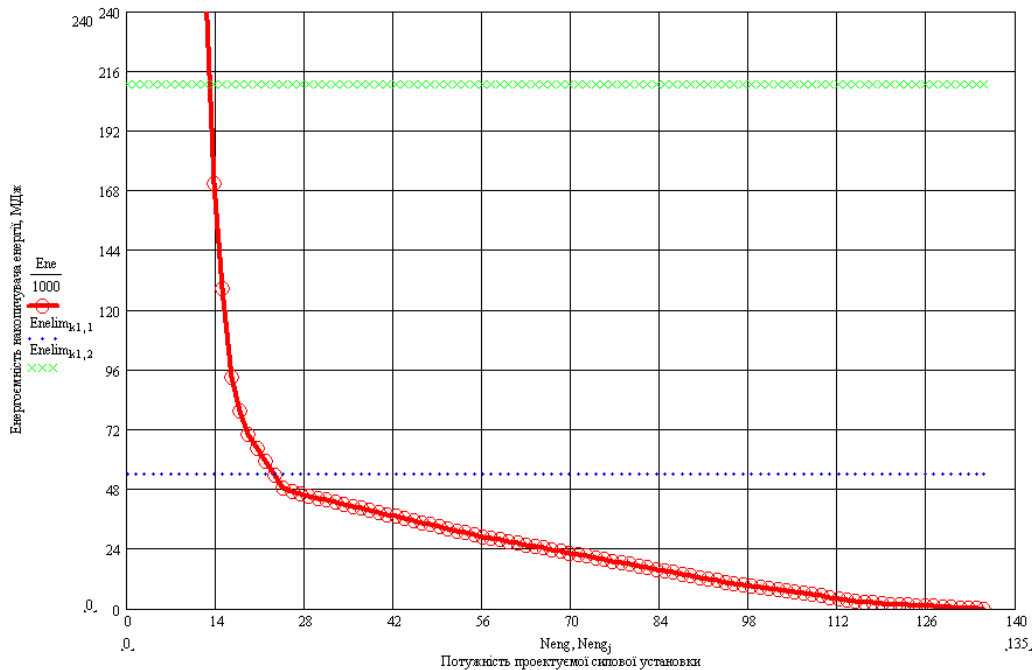


Рисунок 1. – Залежність енергоємності накопичувача енергії E_{ne} від потужності обраної силової установки N_{eng} для заданого режиму роботи

Задаючись граничними параметрами маси M_{pred} і об'єму V_{pred} накопичувачів з умови їх розміщення на локомотиві, що проектується, з урахуванням його вільного простору обчислюються граничні параметри енергоємності цих накопичувачів, формуючи матрицю $Enelim$ за допомогою наступних виразів:

$$Enelim_{k1,1} = \frac{M_{pred}}{1000k_{ne_{k1,1}}},$$

$$Enelim_{k1,2} = \frac{V_{pred}}{1000k_{ne_{k1,2}}}.$$

Висновки

1) Проведено аналіз роботи існуючих маневрових тепловозів.

2) Наведено метод визначення необхідної енергоємності накопичувача енергії та потужності силової установки для маневрового тепловозу із гібридною передачею з урахуванням їх габаритних розмірів за умови розміщення у вільному просторі тепловоза.

3) Подібний метод дозволяє обрати параметри накопичувачів енергії і силової установки виходячи з умови реальної роботи локомотивів, що експлуатуються.

Список літератури

1. Фалендыш А.П., Володарец Н.В. Оценка технического уровня маневровых тепловозов с гибридной передачей // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.– №5(147) 2010. – С. 134-141.

2. Фалендыш А.П., Володарец Н.В. Использование гибридных передач на маневровых тепловозах // Локомотивинформ. – 2010. – Декабрь. – С. 4-7.

3. Гулиа Н.В. Накопители энергии. - М.: Наука, 1980, с.137-138.

4. Фалендиш А.П., Володарец М.В. Розробка моделі для вибору потужнісних характеристик маневрового тепловозу із гібридною передачею // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2010. - №24. – С. 122-130.

Анотації:

Ключові слова: маневровий тепловоз, гібридна передача, модель, енергоємність, накопичувач енергії, силова установка.

В статті розглянуті питання щодо модернізації маневрового тепловозу гібридною передачею і визначення необхідної енергоємності накопичувача енергії та потужності силової установки, які встановлено на ньому.

В статье рассмотрены вопросы модернизации маневрового тепловоза гибридной передачей и определения необходимой энергоёмкости накопителя энергии и мощности силовой установки, которые установлены на нем.

The questions of modernization of a shunting diesel engine with a hybrid transmission and definitions necessary for power consumption of the store of energy and power of a power-plant which are established on it are considered in the article.

УДК 629.421.4

ФАЛЕНДИШ А.П., д.т.н.(УкрДАЗТ);
ГАТЧЕНКО В.О., інженер (ДонІЗТ).

Моделювання витрат палива маневровими тепловозами, що працюють за системою двох одиниць на основі математичної моделі

Постановка проблеми

Розроблена математична модель для визначення ймовірностей знаходження тепловозів в різних станах системи [1] дозволяє знайти оптимальний режим роботи локомотивів в даних конкретних умовах експлуатації. Щоб оцінити модель на адекватність необхідно розрахувати витрати палива на основі розробленої моделі і порівняти їх з експлуатаційними даними.

Аналіз досліджень і публікацій

Розроблена модель для визначення ймовірності знаходження локомотивів у різних станах системи, яка реалізована в програмному продукті MathCad. Визначені чисельні значення ймовірностей для однієї зміни роботи маневрових тепловозів, що

працюють за системою двох одиниць [1].

Мета статті

Уточнити отримані розрахунки за рахунок збільшення обробки статистичних даних, визначити витрати дизельного палива при розрахунку, згідно побудованої моделі, оцінити модель на адекватність.

Виклад основного матеріалу

На основі побудованої математичної моделі були отримані вірогідності знаходження маневрових тепловозів, що працюють за системою двох одиниць у різних станах системи протягом однієї зміни.

Для уточнення розрахунків отриманих ймовірностей візьмемо статистичні дані про роботу маневрових тепловозів,

РУХОМИЙ СКЛАД

що працюють за системою двох одиниць боти локомотивів наведений в таблиці 1.
за п'ять різних змін $Z_i, i = 1...5$.

Час знаходження локомотивів в різних станах системи при різних змінах ро-

Інтенсивності переходів зі стану в стан системи для різних варіантів наведені в таблиці 2

Таблиця 1. – Результати обробки роботи маневрових тепловозів, що працюють за системою двох одиниць за зміну

Стани знаходження тепловозів у «спарці»	Час знаходження локомотивів в різних станах системи при різних змінах роботи локомотивів,сек.				
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
X1	600	3600	4680	1800	4680
X2	13320	11880	12960	11520	12240
X3	8100	9420	7800	6360	8700
X4	0	0	0	0	0
X5	13560	10260	11940	17160	13020
X6	0	0	0	0	0
X7	0	0	0	0	0
X8	0	0	0	0	0
X9	7620	8040	5820	6360	4560

Таблиця 2. – Інтенсивності переходів зі стану в стан системи для п'яти різних варіантів згідно статистичних даних

Величина λ_{i-j}	Варіанти роботи локомотивів в різних змінах				
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
1-2	$16,67 \cdot 10^{-4}$	$2,78 \cdot 10^{-4}$	$2,14 \cdot 10^{-4}$	$5,56 \cdot 10^{-4}$	$2,14 \cdot 10^{-4}$
2-1	$1,09 \cdot 10^{-4}$	$1,22 \cdot 10^{-4}$	$1,12 \cdot 10^{-4}$	$1,26 \cdot 10^{-4}$	$1,18 \cdot 10^{-4}$
1-4	0	0	0	0	0
4-1	0	0	0	0	0
2-3	$5,78 \cdot 10^{-4}$	$6,48 \cdot 10^{-4}$	$5,94 \cdot 10^{-4}$	$6,68 \cdot 10^{-4}$	$6,28 \cdot 10^{-4}$
3-2	$3,74 \cdot 10^{-4}$	$3,22 \cdot 10^{-4}$	$3,89 \cdot 10^{-4}$	$4,76 \cdot 10^{-4}$	$3,48 \cdot 10^{-4}$
2-5	$4,17 \cdot 10^{-4}$	$4,68 \cdot 10^{-4}$	$4,29 \cdot 10^{-4}$	$4,82 \cdot 10^{-4}$	$4,54 \cdot 10^{-4}$
5-2	$0,74 \cdot 10^{-4}$	$0,97 \cdot 10^{-4}$	$0,84 \cdot 10^{-4}$	$0,58 \cdot 10^{-4}$	$0,77 \cdot 10^{-4}$
3-6	0	0	0	0	0
6-3	0	0	0	0	0
3-9	$1,84 \cdot 10^{-4}$	$1,58 \cdot 10^{-4}$	$1,91 \cdot 10^{-4}$	$2,35 \cdot 10^{-4}$	$1,72 \cdot 10^{-4}$
9-3	$1,31 \cdot 10^{-4}$	$1,24 \cdot 10^{-4}$	$1,72 \cdot 10^{-4}$	$1,57 \cdot 10^{-4}$	$2,19 \cdot 10^{-4}$
3-4	0	0	0	0	0
4-3	0	0	0	0	0
4-7	0	0	0	0	0
7-4	0	0	0	0	0
7-8	0	0	0	0	0
8-7	0	0	0	0	0
8-9	0	0	0	0	0
9-8	0	0	0	0	0
6-5	0	0	0	0	0
6-9	0	0	0	0	0
9-6	0	0	0	0	0

Підставивши значення інтенсивності чення ймовірностей для різних змін роботи. переходів λ_{i-j} в рівняння 1 отримаємо зна-

$$P_1(0)=1, P_2(0)=P_3(0)=P_4(0)=P_5(0)=P_6(0)=P_7(0)=P_8(0)=P_9(0)=0.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_{4,1} \cdot p_4 + \lambda_{2,1} \cdot p_2 - (\lambda_{1,2} + \lambda_{1,4}) \cdot p_1 = 0, \\ \lambda_{3,2} \cdot p_3 + \lambda_{5,2} \cdot p_5 + \lambda_{1,2} \cdot p_1 - (\lambda_{2,5} + \lambda_{2,3} + \lambda_{2,1}) \cdot p_2 = 0, \\ \lambda_{4,3} \cdot p_4 + \lambda_{9,3} \cdot p_9 + \lambda_{2,3} \cdot p_2 + \lambda_{6,3} \cdot p_6 - (\lambda_{3,4} + \lambda_{3,9} + \lambda_{3,2} + \lambda_{3,6}) \cdot p_3 = 0, \\ \lambda_{3,4} \cdot p_3 + \lambda_{7,4} \cdot p_7 + \lambda_{1,4} \cdot p_1 - (\lambda_{4,7} + \lambda_{4,3} + \lambda_{4,1}) \cdot p_4 = 0, \\ \lambda_{2,5} \cdot p_2 + \lambda_{6,5} \cdot p_6 - \lambda_{5,2} \cdot p_5 = 0, \\ \lambda_{3,6} \cdot p_3 + \lambda_{9,6} \cdot p_9 - (\lambda_{6,5} + \lambda_{6,3} + \lambda_{6,9}) \cdot p_6 = 0, \\ \lambda_{4,7} \cdot p_4 + \lambda_{8,7} \cdot p_8 - (\lambda_{7,4} + \lambda_{7,8}) \cdot p_7 = 0, \\ \lambda_{7,8} \cdot p_7 + \lambda_{9,8} \cdot p_9 - (\lambda_{8,9} + \lambda_{8,7}) \cdot p_8 = 0, \\ \lambda_{3,9} \cdot p_3 + \lambda_{6,9} \cdot p_6 + \lambda_{8,9} \cdot p_8 - (\lambda_{9,6} + \lambda_{9,3} + \lambda_{9,8}) \cdot p_9 = 0, \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 + p_8 + p_9 = 1. \end{array} \right. \quad (1)$$

Розрахунок виконуємо в середовищі Mathcad, для чого було складено процедуру та алгоритм вирішення заданої системи рівнянь [1].

$$\text{Find}(p_1, p_2, p_3, p_5, p_9) = \begin{pmatrix} 0.006258849161834 \\ 0.095875137744023 \\ 0.147964343643056 \\ 0.542146316851107 \\ 0.20775535259998 \end{pmatrix}$$

Розрахунок ймовірностей в середовищі Mathcad для z_1 .

$$\begin{array}{l} p_1 := 0 \quad p_2 := 0 \quad p_3 := 0 \quad p_4 := 0 \quad p_5 := 0 \\ p_6 := 0 \quad p_7 := 0 \quad p_8 := 0 \quad p_9 := 0 \\ p_1 := 0 \\ \frac{1}{9191} \cdot p_2 - \frac{p_1}{600} = 0 \\ p_3 \cdot \frac{1}{2673} + \frac{p_5}{13560} + \frac{p_1}{600} - \left(\frac{1}{2398} + \frac{1}{1732} + \frac{1}{9191} \right) \cdot p_2 = 0 \\ \frac{p_9}{7620} + \frac{p_2}{1732} - \left(\frac{1}{5427} + \frac{1}{2673} \right) \cdot p_3 = 0 \\ \frac{p_2}{2398} - \frac{p_5}{13560} = 0 \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 + p_8 + p_9 = 1 \\ \frac{p_3}{5427} - \frac{p_9}{7620} = 0 \end{array}$$

Для інших змін розрахунки виконані аналогічно, при підставці у рівняння (1) своїх значень інтенсивності переходів з таблиці 2.

Результати розрахунків подані в таблиці 3.

Згідно отриманих ймовірностей можна розрахувати витрати палива при існуючому режимі роботи локомотивів за зміну.

Витрата палива за зміну G^{poz} , кг маневровими тепловозами, що працюють за системою двох одиниць складається з витрат палива в режимі холостого ходу та в режимі тяги.

$$G^{poz} = G_{x.x}^{poz} + G_T^{poz} \quad (2)$$

Таблиця 3. – Результати розрахунків ймовірностей знаходження локомотивів у різних станах системи для різних змін роботи

Найменування показника	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	Σ	
P(X _i)	Z ₁	0,0062	0,0959	0,1480	0	0,5421	0	0	0	0,2078	1,0
	Z ₂	0,0406	0,0924	0,1862	0	0,4436	0	0	0	0,2372	1,0
	Z ₃	0,0530	0,1013	0,1548	0	0,5185	0	0	0	0,1724	1,0
	Z ₄	0,0174	0,0770	0,1078	0	0,6368	0	0	0	0,1610	1,0
	Z ₅	0,0519	0,0936	0,1690	0	0,5533	0	0	0	0,1322	1,0

Витрата палива маневровими локомотивами на режимі холостого ходу

$G_{x.x}^{poz}$, кг можна знайти по формулі :

$$G_{x.x}^{poz} = \tau_{x.x} \cdot g_{x.x}, \quad (3)$$

де $\tau_{x.x}$ - час роботи дизель-генераторної установки в режимі холостого ходу, год.;

$g_{x.x}$ - витрата палива, кг/год (згідно [2] дорівнює 9 кг/год.)

Витрату палива в режимі тяги G_T^{poz} , кг можна розрахувати за формулою:

$$G_T^{poz} = \sum_{i=1}^n \tau_{i \hat{c} i} \cdot P_i \cdot g_{ei} \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

де $\tau_{i \hat{c} i}$ - час роботи дизель-генераторної установки на і-й позиції контролера машиніста, год.;

P_i - потужність дизеля на і-й позиції контролера машиніста, кВт;

g_{ei} - питома витрата палива на і-й позиції контролера машиніста, г/кВтгод.

Розрахувати витрату палива для отриманого режиму роботи можна використовуючи отримані вірогідності (табли-

ця 3) та дані про час знаходження тепловозів на відповідних позиціях контролера машиніста при виконанні різних маневрових операцій за зміну [3]. Потужність дизеля по позиціям отримуємо з [4].

Результати розрахунків занесені в таблицях 4, 5.

Аналізуючи таблицю 6 встановлено, що витрати палива отримані розрахунковим способом по математичній моделі відрізняються від експлуатаційних витрат в середньому на 5,8%, максимальна розбіжність Δ , кг становить 23,36 кг, що допустимо, тому що розрахована раніше [3] середнє значення витрати палива $\bar{G}, кг = 276 кг$, а статистичне середньоквадратичне відхилення витрати палива $\sigma_G = 26,09$.

Таким чином, робимо висновок про те, що наша модель визначення станів системи роботи маневрових тепловозів за системою двох одиниць адекватна. За допомогою даної математичної моделі можна вибирати оптимальний режим роботи маневрових тепловозів, що працюють за системою двох одиниць.

РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 4. – Розрахунки витрат палива в режимі тяги

Найменування показника		Позиції контролера машиніста								Σ
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
P_i , кВт		30	90	175	275	395	550	700	865	-
g_{ei} , г/кВтгод		321,0	303,0	282,0	237,86	219,29	212,86	212,5	213,57	-
Z_1	$\tau_{noz}(X_5)$, год	2,93	2,47	0,85	0,20	0,07	0,0	0,0	0,0	6,5052
	$\tau_{noz}(X_9)$, год	0,37	0,80	0,79	0,50	0,04	0,0	0,0	0,0	2,4936
	$G_T^{poz}(X5)$, кг	28,19	67,41	41,73	14,01	6,09	0,0	0,0	0,0	157,43
	$G_T^{poz}(X9)$, кг	3,60	21,76	38,76	35,80	3,50	0,0	0,0	0,0	103,42
Z_2	$\tau_{noz}(X_5)$, год	2,40	2,02	0,69	0,16	0,05	0,0	0,0	0,0	5,3232
	$\tau_{noz}(X_9)$, год	0,43	0,91	0,90	0,57	0,04	0,0	0,0	0,0	2,8464
	$G_T^{poz}(X5)$, кг	23,07	55,16	34,15	11,46	4,98	0,0	0,0	0,0	128,83
	$G_T^{poz}(X9)$, кг	4,11	24,84	44,25	40,86	4,00	0,0	0,0	0,0	118,06
Z_3	$\tau_{noz}(X_5)$, год	2,80	2,36	0,81	0,19	0,06	0,0	0,0	0,0	6,222
	$\tau_{noz}(X_9)$, год	0,31	0,66	0,65	0,41	0,03	0,0	0,0	0,0	2,0688
	$G_T^{poz}(X5)$, кг	26,96	64,48	39,92	13,40	5,82	0,0	0,0	0,0	150,58
	$G_T^{poz}(X9)$, кг	2,99	18,05	32,16	29,70	2,91	0,0	0,0	0,0	85,80
Z_4	$\tau_{noz}(X_5)$, год	3,44	2,90	0,99	0,23	0,08	0,0	0,0	0,0	7,6416
	$\tau_{noz}(X_9)$, год	0,29	0,62	0,61	0,39	0,03	0,0	0,0	0,0	1,932
	$G_T^{poz}(X5)$, кг	33,11	79,19	49,02	16,45	7,15	0,0	0,0	0,0	184,93
	$G_T^{poz}(X9)$, кг	2,79	16,86	30,03	27,73	2,71	0,0	0,0	0,0	80,13
Z_5	$\tau_{noz}(X_5)$, год	2,99	2,52	0,86	0,20	0,07	0,0	0,0	0,0	6,6408
	$\tau_{noz}(X_9)$, год	0,24	0,51	0,50	0,32	0,02	0,0	0,0	0,0	1,5864
	$G_T^{poz}(X5)$, кг	28,78	68,82	42,60	14,30	6,22	0,0	0,0	0,0	160,71
	$G_T^{poz}(X9)$, кг	2,29	13,84	24,66	22,77	2,23	0,0	0,0	0,0	65,80
Z_5	$\tau_{noz}(X_5)$, год	2,99	2,52	0,86	0,20	0,07	0,0	0,0	0,0	6,6408
	$\tau_{noz}(X_9)$, год	0,24	0,51	0,50	0,32	0,02	0,0	0,0	0,0	1,5864
	$G_T^{poz}(X5)$, кг	28,78	68,82	42,60	14,30	6,22	0,0	0,0	0,0	160,71
	$G_T^{poz}(X9)$, кг	2,29	13,84	24,66	22,77	2,23	0,0	0,0	0,0	65,80

РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 5. – Розрахунки витрат палива в цілому за зміну

Найменування показника		Стани системи роботи маневрових тепловозів									Σ
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	
Z ₁	$P(X_i)$	0,0062	0,0959	0,1480	0	0,5421	0	0	0	0,2078	1,0
	$\tau(X_i)$, год	0,0744	1,1508	1,776	0	6,5052	0	0	0	2,4936	12,0
	$G_{x.x}^{poz}$, кг	0	10,36	31,97	0	0	0	0	0	0	42,33
	G_T^{poz} , кг	0	0	0	0	157,43	0	0	0	103,42	260,86
	G^{poz} , кг	0	10,36	31,97	0	157,43	0	0	0	103,42	303,19
Z ₂	$P(X_i)$	0,0406	0,0924	0,1862	0	0,4436	0	0	0	0,2372	1,0
	$\tau(X_i)$, год	0,4872	1,1088	2,2344	0	5,3232	0	0	0	2,8464	12,0
	$G_{x.x}^{poz}$, кг	0	9,98	40,22	0	0	0	0	0	0	50,2
	G_T^{poz} , кг	0	0	0	0	128,83	0	0	0	118,06	246,88
	G^{poz} , кг	0	9,98	40,22	0	128,83	0	0	0	118,06	297,08
Z ₃	$P(X_i)$	0,0530	0,1013	0,1548	0	0,5185	0	0	0	0,1724	1,0
	$\tau(X_i)$, год	0,636	1,2156	1,8576	0	6,222	0	0	0	2,0688	12,0
	$G_{x.x}^{poz}$, кг	0	10,94	33,44	0	0	0	0	0	0	44,38
	G_T^{poz} , кг	0	0	0	0	150,58	0	0	0	85,80	236,38
	G^{poz} , кг	0	10,94	33,44	0	150,58	0	0	0	85,80	280,76
Z ₄	$P(X_i)$	0,0174	0,0770	0,1078	0	0,6368	0	0	0	0,1610	1,0
	$\tau(X_i)$, год	0,2088	0,924	1,2936	0	7,6416	0	0	0	1,932	12,0
	$G_{x.x}^{poz}$, кг	0	8,32	23,28	0	0	0	0	0	0	31,6
	G_T^{poz} , кг	0	0	0	0	184,93	0	0	0	80,13	265,06
	G^{poz} , кг	0	8,32	23,28	0	184,93	0	0	0	80,13	296,66
Z ₅	$P(X_i)$	0,0519	0,0936	0,1690	0	0,5533	0	0	0	0,1322	1,0
	$\tau(X_i)$, год	0,6228	1,1232	2,028	0	6,6408	0	0	0	1,5864	12,0
	$G_{x.x}^{poz}$, кг	0	10,11	36,50	0	0	0	0	0	0	46,61
	G_T^{poz} , кг	0	0	0	0	160,71	0	0	0	65,80	226,51
	G^{poz} , кг	0	10,11	36,50	0	160,71	0	0	0	65,80	273,12

Таблиця 6. – Порівняння розрахункових витрат палива з експлуатаційними

Найменування показника	Зміни роботи маневрових тепловозів				
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
$G^{роз}$, кг	303,19	297,08	280,76	296,66	273,12
$G^{експ}$, кг	298,42	280,36	263,4	273,3	253,0
Δ , кг	4,77	16,72	17,36	23,36	20,12
Δ , %	1,6	5,6	6,2	7,9	7,4

Висновки

1. Для уточнення попередніх розрахунків ймовірностей, на основі побудованої моделі були визначені чисельні значення для п'яти різних змін. Визначені витрати дизельного палива розрахунковим методом на основі запропонованої математичної моделі.

2. Витрати палива отримані розрахунковим способом по математичній моделі відрізняються від експлуатаційних витрат в середньому на 5,8%, максимальна розбіжність Δ , кг становить 23,36 кг.

3. В подальшому з використанням даної моделі необхідно оптимізувати режими роботи маневрових тепловозів, що працюють за системою двох одиниць.

Список літератури

1. Модель визначення станів системи роботи маневрових тепловозів за системою двох одиниць /А.П.Фалендиш, О.В.Устенко, В.О.Гатченко, М.В.Володарець // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. –Харків:, УкрДАЗТ, 2011. -Вип.123- С.17-24.

2. Нотик З.Х. Тепловозы ЧМЭЗ, ЧМЭЗТ. Москва, Транспорт, 1990. -381 с.

3. Оцінка впливу експлуатаційних факторів на режими роботи та витрату

палива маневрових тепловозів, що працюють за системою двох одиниць /В.О.Гатченко // Збірник наукових праць. Вип.25.- Донецьк, ДонІЗТ 2011.С.145-150.

4. Правила технічного обслуговування і поточних ремонтів тепловозів серії ЧМЕЗ, ЧМЕЗТ,ЧМЕЗЕ 105.86700.94209.ЦТ-0187, Затверджено наказом Укрзалізниці 24 червня 2009р. №367-Ц., -280с.

Анотації:

На основі побудованої моделі були визначені чисельні значення ймовірностей знаходження локомотивів в станах системи для різних змін. Визначені витрати дизельного палива розрахунковим методом на основі запропонованої математичної моделі. Виконана оцінка моделі на адекватність.

На основе построенной модели были определены численные значения вероятностей нахождения локомотивов в состояниях системы для разных смен. Определены расходы дизельного топлива расчетным способом на основе предложенной математической модели. Выполнена оценка модели на адекватность.

Based on this model were determined by the numerical values of the probabilities of finding the locomotives in the states of the system for different shifts. Determine the costs of diesel fuel calculation method based on the proposed mathematical model. The estimation of the model for adequacy.